



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**OLLI RANTANEN**

**KONEELLISEN JÄÄHDYTYSTARPEEN TARKASTELU PIENTA-  
LOSSA**

Diplomityö

Tarkastaja: Professori Juha Vinha  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Talouden ja rakentamisen tiedekun-  
taneuvoston kokouksessa 12. elo-  
kuuta 2015

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

**RANTANEN, OLLI:** Koneellisen jäähdytystarpeen tarkastelu pientalossa

Diplomityö, 133 sivua, 54 liitesivua

Elokuu 2015

Pääaine: Rakennesuunnittelu

Tarkastaja: Professori Juha Vinha

Avainsanat: Lämmöneristys, jäähdytys, energiankulutus, pientalo

Tutkimuksessa tavoitteena oli tutkia pientalon koneellisen jäähdytyksen energiankulutusta sekä saman pientalon kokonaisenergiankulutusta. Tutkittava pientalo sijaitsi Tampereella. Tutkimukset tehtiin kuukausitason käsinlaskentana Suomen Rakentamismääräyskokoelman ohjeiden mukaan sekä tunnittaisia säätietoja käyttäen IDA-ICE-ohjelmalla simuloimalla. Laskennassa pyrittiin tutkimaan, mitkä eri muuttujat luovat eniten eroa laskentatapojen tulosten välille.

Tutkimuksessa selvisi, että käsinlaskennalla lasketut jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset ovat kutakuinkin aina IDA-ICE:lla laskettuja määriä pienemmät. Prosentuaalisesti eniten eroa jäähdytystarpeessa laskentatapojen välillä oli silloin kun rakennuksen sisäinen lämpökuorma oli pieni. Kuukauden keskilämpötiloja käytettäessä ei jäähdytystä käsinlaskennan mukaan ylemmillä jäähdytysrajan arvoilla enää tarvittu. IDA-ICE-ohjelma ottaa huomioon hetkelliset lämpötilahuiput, jolloin myös korkeammilla jäähdytysrajan arvoilla oli jäähdytykselle tarvetta. Kun jäähdytysraja oli alhainen eli 21 °C ja rakennukseen tuleva lämpökuorma suuri, niin laskentamenetelmien tulosten ero oli pieni.

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D3 ohjeiden mukaan pientalon kesäajan huonelämpötilojen laskentaa ei tarvitse suorittaa, ja näin ollen jäähdytystarvetakaan ei tarvitse selvittää. Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on tosin esitetty lisävaatimuksia kesäajan lämpötiloille. Tutkimuksen perusteella pientalon jäähdytystarpeen tutkiminen käsinlaskennalla olisi turhaa, koska asetettu jäähdytysraja 27 °C on niin korkea, että silloin ei juuri missään tutkitussa tapauksessa tapahtunut jäähdytystä. Ainoastaan yhdellä tutkitun pientalon versioista tarvittiin käsinlaskennan mukaan jäähdytystä, kun jäähdytysraja oli suuruudeltaan 27 °C. Tässä tutkitussa versiossa rakennus oli erittäin hyvin lämpöeristetty ja vaipan ilmatiiviys oli hyvä. Suurimmat jäähdytystarpeet saatiin, kun ikkunoista pääsi mahdollisimman paljon auringonsäteilyä läpi, ja kun rakennusvaippa oli hyvin lämpöeristetty.

Kokonaisenergiankulutuksen eli E-luvun laskennassa eniten eroa laskentatapojen välille syntyi, kun vaipan ilmatiiviys oli suuri ja lämmöneristys paksu. Tällöin käsinlaskennalla saadut tulokset olivat pienempiä kuin IDA-ICE:n laskemat tulokset. Tämä ero syntyi lämmitykseen kuluneesta energiasta.

Tulevaisuuden testivuotia IDA-ICE:ssa käytettäessä huomattiin jäähdytystarpeen kasvavan tulevaisuudessa. Vastaavasti lämmitystarpeen huomattiin alentuvan.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

**RANTANEN OLLI:** Energy consumption of mechanical cooling in a single-family house

Master of Science Thesis, 133 pages, 54 Appendix pages

August 2015

Major: Structural Engineering

Examiner: Professor Juha Vinha

Keywords: Thermal insulation, cooling, energy consumption, single-family house

The objective of this study was to investigate the energy consumption of mechanical cooling in a single-family house, as well as the overall energy use (E-value) of the same house. The single-family house which was under examination was located in Tampere, Finland. The investigations were conducted by monthly calculation which was done manually following the instructions of The National Building Code of Finland. The same investigations were done also by using the IDA-ICE software, which does simulations using an hourly weather data. The calculations were aimed to find out what kind of variables create the most difference between the two methods of calculating.

In the study it was found out that manually calculated cooling energy consumptions were almost always less than the ones calculated by IDA-ICE. In percentage the biggest difference between the two calculating methods was when the building's internal heat load was small. When using the monthly average temperatures in manual calculation, the study found out that the cooling wasn't needed when the cooling limit was high. IDA-ICE takes the temperature peaks into account, which means that the cooling is also needed when the cooling limit is higher. When the cooling limit was as low as 21 °C and the heat load that entered the building was high, the difference between the results of the two calculation methods was small.

Part D3 of The National Building Code of Finland says that you don't have to investigate the summertime in room temperatures in a single-family house. So you don't have to investigate the need for cooling either. There are also other requirements for summer temperatures in the part D2 of The National Building Code. The cooling limit in a single-family house is set to 27 °C. It is so high that according to the manual calculations of this study, the cooling wasn't needed in all but one case. In this case the building was very airtight and well insulated. That's why the manual calculation for the cooling need would be pointless. The largest amounts of needed cooling were gained, when the windows let through the most solar radiation, and the building was isolated well.

When counting the buildings overall energy use, the biggest difference between the two calculating methods was when the building envelope was tight and the insulation was thick. Manually calculated results were smaller than the results simulated by IDA-ICE. This difference consisted of the heating energy.

When using the future weather test years it was discovered that the need for cooling increases in the future. The need for heating is going to decline.

## ALKUSANAT

Tämän diplomityön pohjana on pientalo, joka on esitetty Natalia Kajavan kandidaatintyössä ”Uusien energiamääräysten täyttäminen suoraa sähkölämmitystä käyttävissä pientaloissa”. Tuon kandidaatintyön sisällön ja laskentojen pohjalta tätä diplomityötä ruvettiin rakentamaan. Kiitokset siis Natalia Kajavalle mainiosta pohjatyöstä.

Työn tekeminen koostui aluksi aiheeseen perehtymisestä sekä IDA-ICE-ohjelmiston käytön opettelemisesta. IDA-ICE:n käytön oppimisessa diplomi-insinööri Paavo Kerosta ja Tekniikan lisensiaatti Mika Vuolteesta oli suuri apu. Molemmat auttoivat IDA-ICE:n kanssa tulleissa ongelmatilanteissa ja myös muissa energiankulutukseen ja rakenteisiin liittyvissä asioissa. Kiitän Paavo Keroa ja Mika Vuolletta suuresti avustuksesta.

Diplomityö jatkui teorian kirjoittamisella ja IDA-ICE-simulointien parissa. Tämän jälkeen diplomityöhön tulivat mukaan rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen ja jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen käsinlaskenta Excel-ohjelmalla. Eri laskentatapauksia ja tutkittavia asioita lisättiin mukaan tässä vaiheessa. Kun laskut ja simuloinnit oli suoritettu, niin kirjattiin tulokset ylös ja tutkittiin niitä.

Diplomityön ohjaajana toimi professori Juha Vinha. Hän kehitti diplomityön aiheen. Hänelle annan suuret kiitokset diplomityön sisällön määrittelemisestä ja asiantuntemuksesta, joka auttoi minua monesti. Tutkimusapulainen Anssi Laukkarinen auttoi rakennusten energiankulutuksen laskennan tietämyksellään. Häneltä sain muutamaan otteeseen apua työn sisällössä. Kiitän Anssi Laukkarista tästä avusta. Kiitän myös kaikkia muita henkilöitä, jotka ovat avustaneet minua diplomityön teossa.

**Tampereella 26.8.2015**

**Olli Rantanen**

# SISÄLLYS

1	Johdanto .....	1
2	Teoriaa ja ohjeita.....	3
2.1	E-luku.....	3
2.2	Energiatehokkuusluokat ja energiatodistus.....	8
2.3	Jäähdytys .....	9
2.3.1	Yksinkertainen laskentamenetelmä .....	10
2.3.2	Kuukausitason laskentamenetelmä, D5 (2007) .....	13
2.4	Lämpökuormista hyödynnettävä energia .....	15
2.5	Lämmitysjärjestelmän energiankulutus .....	22
2.6	Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus .....	28
2.7	Lämpötilaolot rakennuksen sisällä.....	29
2.7.1	Sisäilman lämpötilarajat Rakentamismääräyskokoelmassa.....	29
2.7.2	Sisäilman lämpötilarajat Sisäilmastoluokituksessa .....	31
2.8	Lämmönläpäisykerroin .....	38
2.8.1	Lämmönläpäisykertoimen laskeminen .....	39
2.8.2	Maanvastaisen alapohjarakenteen lämmönläpäisykertoimien laskeminen.....	42
2.9	Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve .....	47
2.9.1	Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeen laskenta.....	52
2.9.2	Tuloilman ja korvausilman lämmitysenergian tarpeen laskenta.....	53
2.9.3	Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeen laskenta .....	55
2.10	Aurinkosähköjärjestelmä .....	57
2.11	Lämpöhäviöiden tasauslaskenta.....	58
3	Laskennan lähtötietoja .....	61
3.1	Mallitalon esittely .....	61
3.1.1	Mallitalon mitat .....	61
3.1.2	Kaukolämmitetty rakennus .....	63
3.1.3	Sähköllä lämmitetty rakennus.....	65
3.2	Lämpökuormat .....	67
3.3	Lämmin käyttövesi.....	69
3.4	Ilmastointi .....	70
3.5	Säätiedot.....	70
3.6	IDA-ICE-laskennan erityispiirteitä .....	73
3.6.1	IDA-ICE:n lähtöarvot kaukolämmitysratkaisulle .....	77
3.6.2	IDA-ICE:n lähtöarvot sähkölämmitysratkaisulle .....	78
3.6.3	Jäähdytysjärjestelmän asetukset IDA-ICE:ssa .....	79
3.7	Eri laskentatapausten esittely .....	79
3.7.1	Perustapaus .....	80
3.7.2	Verhot sisältävä tapaus .....	81
3.7.3	Tapaus, jossa rakennus käännetään .....	81

3.7.4	Tapaus, jossa ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerrointa korotetaan.....	82
3.7.5	Tapaus, jossa on saavutettu energiatehokkuusluokka B.....	82
3.7.6	Tapaus, jossa on saavutettu energiatehokkuusluokka A.....	84
4	Laskennan tuloksia.....	88
4.1	Käsinlaskennan tulokset.....	88
4.1.1	Perustapauksen kokonaisenergiankulutus ja jäähdytystarve .....	88
4.1.2	Verhojen käytön vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen.....	90
4.1.3	Rakennuksen kääntämisen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen.....	92
4.1.4	Ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykertoimen korottamisen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen .....	93
4.1.5	Energiatehokkuusluokka B:n saavuttamisen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen .....	95
4.1.6	Energiatehokkuusluokka A:n saavuttamisen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen .....	96
4.2	IDA-ICE-laskennan tulokset.....	97
4.2.1	Perustapauksen kokonaisenergiankulutus ja jäähdytystarve IDA-ICE:ssa .....	97
4.2.2	Verhojen käytön vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen IDA-ICE:ssa.....	100
4.2.3	Rakennuksen kääntämisen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen IDA-ICE:ssa.....	103
4.2.4	Ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykertoimen korottamisen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen IDA-ICE:ssa .....	106
4.2.5	Käsinlaskennalla saavutetun energiatehokkuusluokka B:n asetusten vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen IDA-ICE:ssa....	109
4.2.6	Käsinlaskennalla saavutetun energiatehokkuusluokka A:n asetusten vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen IDA-ICE:ssa....	110
4.3	Käsinlaskennan ja IDA-ICE-laskennan tulosten vertailua.....	112
4.3.1	Kokonaisenergiankulutuksen laskenta.....	112
4.3.2	Jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen laskenta.....	113
4.3.3	Lämpötilojen laskenta.....	119
4.4	Tulosten tarkastelu .....	125
5	Yhteenveto .....	127
	Lähteet.....	131
	Liitteet .....	133

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

Astetunti	Tietyn raja-arvon ylittävän lämpötilan ja ajan tulo.
E-luku	Rakennuksen vuotuinen kokonaisenergiankulutus. Laske- taan energiamuodon kertoimilla painotettuna. Käytetään alaindeksillä E varustettua yksikköä kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a).
Energiamuodon kerroin	Energialähteen tai energiantuotantomuodon kerroin, jolla eri energiamuodot kerrotaan, jotta saadaan E-luku laskettua.
Huonelämpötila	Yleensä ilman lämpötila oleskeluvyöhykkeellä. Kun huo- neessa on ilman lämpötilasta poikkeavia laajoja pintoja, niin käytetään huonelämpötilana operatiivista lämpötilaa.
Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	Vuodessa lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettavan ja hyödynnettävän lämpömäärän suhde ilmanvaihdon lämmi- tyksen tarvitsemaan lämpömäärään.
Ilmastointi	Tulo- ja kierrätysilman käsittelyllä tapahtuva huoneilman lämpötilan, puhtauden, kosteuden ja ilmanliikkeen hallinta.
Jäähdytysenergian nettotarve	Tilojen ja tuloilman jäähdyttämiseksi tarvittava energia.
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus	Jäähdytysenergian tuoton energiankulutus ja jäähdytyksen apulaitteiden sähkönkulutus. Lasketaan jäähdytysenergian nettotarpeesta ottaen huomioon tuoton, jakelun, varastoin- nin ja luovutuksen häviöt sekä muunnokset.
Jäähdytysraja	Huoneen lämpötila, jonka yläpuolella huonetta jäähdyte- tään.
Kaukolämpö	Kauko- tai aluelämpölaitoksissa tuotettu lämpö, jonka jake- lu tapahtuu verkoston välityksellä.
Kerrostasoala	Pinta-ala, jota rajaavat kerrostasoa ympäröivät ulkoseinien ulkopinnat tai niiden ajateltu jatke.

Kierrätysilma	Ilma, joka palautuu ainoastaan samaan huonetilaan tai asuntoon.
Koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä	Järjestelmä, jonka avulla ilma poistetaan rakennuksesta koneellisesti ja tuodaan tilalle suodatettua ja lämmitettyä tai jäähdytettyä ulkoilmaa puhaltimen avulla.
Kylmäsilta	Rakennuksen vaipan läpäisevä ja hyvin lämpöä johtavasta materiaalista tehty rakenneos, jonka läpi kulkevan lämpövirran tiheys on jatkuvuustilassa ympäröivään rakenteeseen verrattuna suurempi.
Käyttöaika	Aika, jona tilassa tai rakennuksessa oleskellaan tai tilaa käytetään sen tarkoituksen mukaisesti.
Lämmitetty nettoala	Lämmitettyjen kerrostasoalojen summa, joka on laskettu kerrostasoja ympäröivien ulkoseinien sisäpintojen mukaan.
Lämmitysenergian nettotarve	Lämmitysenergian tarve, josta on vähennetty henkilöistä, sähkölaitteista ja valaistuksesta aiheutuva lämpökuormien energia. Lisäksi on otettu huomioon auringon säteilyenergia sekä poistoilmasta, jätevedestä ja muista energiavirroista talteen otettu ja hyväksikäytetty energia. Lämmitysenergian nettotarpeella tarkoitetaan energiaa, joka tuodaan lämmitysjärjestelmällä tiloihin, käyttövedeen ja tuloilmaan. Se koostuu tilojen, lämpimän käyttöveden ja ilmanvaihdon lämmityksen nettotarpeesta.
Lämmitysjärjestelmän energiankulutus	Tilojen, lämpimän käyttöveden ja ilmanvaihdon lämmityksen energiankulutus. Lasketaan lämmitysenergian nettotarpeesta ottaen huomioon järjestelmähäviöt ja muunnokset sekä lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus.
Lämmönjohtavuus	Lämpövirran tiheys jatkuvuustilassa pituusyksikön suuruisen tasa-aineisen ainekerroksen läpi lämpötilaeron ollessa kerrosten välillä yksikön suuruinen. Yksikkö W/(mK).



### Lämmönläpäisykerroin (U-arvo)

Lämpövirran tiheys, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun rakennusosan eri puolilla olevien ilmatilojen lämpötilaero on yksikön suuruinen. Yksikkö  $W/(m^2K)$ .

### Lämpökuorma

Muilla tavoilla kuin säätölaitteilla ohjatulla lämmityksellä rakennukseen vapautuva lämpöenergia.

### Met

Met-arvo ilmoittaa fyysisen työn rasittavuuden. 1 met vastaa istuvan ihmisen toimintaa.

### Operatiivinen lämpötila

Kuvaa sisäilman lämpötilasta poikkeavien pintalämpötilojen vaikutusta ihmisen lämmöntunteeseen. Lämpötila muodostuu ilman lämpötilan ja ihmistä kohti suuntautuvan säteilylämmön keskiarvona.

### Poistoilma

Huonetilasta pois johdettava ilma.

### Rakennuksen kokonaisenergiankulutus (E-luku)

Lasketaan energiamuodon kertoimilla painotettuna rakennuksen vuotuisen ostoenergian kulutuksesta lämmitettyä nettoalaa kohden. Käytetään alaindeksillä E varustettua yksikköä  $kWh_E/(m^2a)$ .

### Rakennuksen ostoenergian kulutus

Energia, joka tuodaan rakennukseen esimerkiksi sähköverkosta, kaukolämpöverkosta, kaukojäähdytysverkosta tai fossiilisen tai uusiutuvan polttoaineen sisältämänä energiana. Ostoenergia koostuu lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmien sekä valaistuksen ja sähkölaitteiden energiankulutuksesta energiamuotojen mukaan eriteltynä. Huomiin otetaan vähennykset uusiutuvasta omavaraisenergiasta.

### Rakennuksen vaippa

Rakennuksen rakenteet, jotka erottavat lämmöneristetyt tilat ulkoilmasta, maaperästä tai lämmittämättömästä tilasta.

### Siirtoilma

Tilasta toiseen tilaan johdettava ilma.

### SFP-luku

Puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho (Specific Fan Power). SFP-luku kuvaa kuinka paljon sähkötehoa tarvitaan ilman kuljettamiseen rakennuksessa. Yksikkö  $kW/(m^3/s)$ .

SPF-luku	Lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin (Seasonal Performance Factor), joka on lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumpun ja apulaitteiden vuotuiseseen energiankulutukseen.
Tuloilma	Huonetilaan johdettava ilma.
Viivamainen lisäkonduktanssi	Viivamaisen kylmäsillan aiheuttama lisäys jatkuvuustilassa rakennusosan tai sen reuna-alueen läpi kulkevaan lämpövirtaan, kun lämpötilaero on rakennusosien eri puolien ympäristöjen välillä yksikön suuruinen. Yksikkö W/(mK).
Vuotoilmavirta	Rakennuksen vaipan läpi vuotava ilmavirta. Syntyy tuulen ja lämpötilaerojen synnyttämistä paine-eroista.
Vuotuinen kylmäkerroin	Jäähdytysenergian tuottoprosessilla vuosittain tuotetun jäähdytysenergian suhde kyseiseen prosessiin vuosittain käytetyn energian määrään.

# 1 JOHDANTO

Rakennusten jäähdyttäminen tulee ajankohtaisemmaksi ilmaston lämmitessä. Kun työhuoneen lämpötila on diplomityötä kirjoitettaessa välillä noussut tuonne yli 28 Celsius-asteen, on itsekkin huomannut koneellisen jäähdytyksen tärkeyden. Varsinkin työtä tehdessä optimaalinen lämpötila on oleellista. Lämpötilan ollessa liian korkea, ajattelu ei toimi niin kuin pitäisi ja fyysiset toiminnot ovat raskaita. Viihtyvyys nousee huomattavasti lämpötilan ollessa optimaalisempi. Asuinrakennuksissa kysymys viihtyvyydestä ja jaksamisesta on myös oleellisen tärkeä. Kotona kuitenkin tulisi viihtyä ja öisin pitäisi pystyä nukkumaan.

Rakennusten energiatehokkuuden määrittäminen on uudistunut viime vuosien aikana. Kokonaisenergiankulutuksen uusimmat määräykset astuivat voimaan vuoden 2012 heinäkuussa. Uudisrakennukselle tulee laskea E-luku, jolle on asetettu rakennustyyppikohtainen yläraja. E-luvun laskennassa otetaan huomioon kaikki rakennuksen energiankulutukset. Energiankulutukset kerrotaan energiantuotantotavasta määräytyvällä energiamuodon kertoimella. Niiden summasta saadaan rakennuksen E-luku.

Tässä diplomityössä tutkitaan pientalon koneellisen jäähdytyksen energiankulutusta sekä kokonaisenergiankulutusta eli E-lukua. Tutkittava rakennus on Suomessa Tampereella sijaitseva kuvitteellinen maanvaraisen alapohjan omaava puurakenteinen omakotitalo. Kyseisestä rakennuksesta tutkitaan kahta eri perusversiota, joilla on samat mitat. Toinen versio on kaukolämmiteinen ja toinen sähkölämmiteinen. Koska kyseessä on kuvitteellinen rakennus, tapahtui tutkiminen laskennallisesti. Tässä tapauksessa laskennat tehtiin sekä Excel-ohjelmalla käsinlaskentana että IDA Indoor Climate and Energy -ohjelmalla simuloimalla. IDA-ICE-ohjelmassa käytettiin tunnin välein määritettyjä säätietoja. Käsinlaskenta suoritettiin kuukausitason laskentana, eli käytettiin kuukauden keskiarvon mukaisia säätietoja. IDA-ICE osaa ottaa huomioon muun muassa auringon suunnan ja eri huoneiden väliset lämpötilaerot. Käsinlaskennassa asuntoa ei tarkasteltu erillisinä huoneina, vaan siinä rakennuksen sisätilan oletettiin olevan yksi suuri yhtenäinen tila.

Pääasiallisesti tutkinnan alla olivat pientalon kokonaisenergiankulutus ja jäähdytystarve. Myös rakennuksen lämpötiloja tarkasteltiin. Samalla tutkittiin käsinlaskennan ja IDA-ICE-laskennan tulosten eroavaisuuksia. Muuttujina eri tutkittavien tapausten välillä olivat rakennusvaipan ominaisuudet, rakennukseen lämpökuormia aiheuttavat tekijät, jäähdytysrajat, rakennuksen suuntaus sekä tutkittavat testivuodet. IDA-ICE-laskennassa tutkittiin rakennuksen energiankulutusta, jäähdytystä ja sisälämpötiloja myös tulevaisuuden testivuosilla. Nämä testivuodet löytyvät Ilmatieteen laitoksen internetsivuilta. Tulevaisuuden testivuodet perustuvat vuonna 2011 kehitettyyn Suomen nykyilmastoa vastaavaan testivuoteen TRY2012, ja odotettavissa oleviin ilmastomuutoksen vaikutuksiin.

Laskennat suoritettiin Suomen Rakentamismääräyskokoelman osien C4 (2012), D3 (2012) ja D5 (2012) mukaisilla ohjeilla. Näistä uusimmista Suomen Rakentamis-

määräyskokoelman osista on poistettu jäähdytyksen käsinlaskentaohjeet. Jäähdytyksen laskentaan tulee näiden uusien ohjeiden mukaan käyttää jotakin dynaamista laskentamenetelmää. RakMK:n osan D5 vuoden 2007 versiossa oli vielä mukana jäähdytystarpeen käsinlaskentaohjeet. Koneellisen jäähdytyksen energiankulutuksen käsinlaskenta suoritettiin tässä diplomityössä näillä vanhan D5:n ohjeilla. Yhtenä työn tavoitteena on ollut myös selvittää onko jäähdytyksen käsinlaskennan ohjeiden poisto nykyisistä ohjeista perusteltua. Lähtökohtaisesti voidaan olettaa, että IDA-ICE:lla laskettavat jäähdytysjärjestelmien energiankulutukset ovat tarkempia ja lähempänä todellisia arvoja.

Samaa rakennusta tutkittiin sekä IDA-ICE-ohjelmassa että Excel-ohjelmalla tehdyssä käsinlaskennassa. Samoja variaatioita käytettiin molemmissa laskentamenetelmissä. Rakennusta tutkittiin ilman verhoja ja verhojen kanssa. Tutkittiin miten ikkunoiden auringon kokonaissäteilyn läpäisykertoimen korottaminen vaikuttaa jäähdytyksen tarpeeseen ja kokonaisenergiankulutukseen. Tutkittiin myös millainen vaikutus on rakennuksen kääntämisellä. Lisäksi selvitettiin mitä muutoksia ja parannuksia täytyy sähköllä lämmitetylle rakennukselle tehdä, jotta se pääsisi käsinlaskennassa energiatehokkuusluokkiin A ja B. Kokonaisenergiankulutus eli E-luku laskettiin energiamuotojen kertoimilla painotettuna. Sähköllä on suuri kerroin 1,7. Tästä syystä sähköllä lämmitetylle rakennukselle on vaikea saada hyvää E-lukua. Mielenkiintoista oli siis tutkia saadaanko sähköllä lämmitetty rakennus energiatehokkuusluokkaan A. Uudisrakennuksen tulee alittaa E-luvulle asetettu rakennustyyppikohtainen yläraja. Tämä yläraja on sama kuin nykyisen energiatehokkuusluokan C yläraja. Energiatodistukseen merkitään E-luku ja energiatehokkuusluokka, johon sillä päädytään. Vanhoilla rakennuksilla ei ole E-luvun vaatimuksia, mutta rakennusta myytäessä tulee hankkia energiatodistus. Energiatehokkuusluokat kuvaavat rakennuksen laskennallista energiankulutusta, ja niiden asteikko on A - G, joista A on kaikkein energiatehokkain.

Pientaloille ei nykyisen Rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) ohjeiden mukaan tarvitse suorittaa kesäajan huonelämpötilojen laskentaa. Siitä syystä jäähdytystarvettakaan ei tarvitse selvittää. Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (2012) on kuitenkin esitetty lisävaatimuksia sisäilman lämpötiloille. Jos lämpötilojen kesäajan vaatimukset täyttyvät, ei D2:aan mukaan tarvitse jäähdytystä tutkia. Siksi olikin mielenkiintoista tutkia pientalon jäähdytystarvetta, koska sitä ei nykyisin juurikaan tarkastella rakennusta suunniteltaessa. Jäähdytysjärjestelmän energiankulutusta tutkittiin muuttamalla jäähdytysrajan arvoja 1 °C:een välein. Jäähdytysrajoja tutkittiin välillä 21 - 30 °C. Jäähdytysrajalla tarkoitetaan sitä lämpötilaa, jonka yläpuolella tilaa jäähdytetään. Jäähdytys on yksinkertaistaen ylimääräisen lämpökuorman poistamista rakennuksesta. Jäähdytystarve on siis suurin, kun rakennuksen sisäinen lämpökuorma on suuri ja jäähdytysraja on mahdollisimman alhaalla.

Diplomityö koostuu teoriaosuudesta, laskentatapausten esittelystä sekä saatujen tuloksien esittelystä ja tulkinnasta. Liitteissä on lisäksi esitettynä usean kymmenen sivun verran tarkempia laskennan tuloksia.

## 2 TEORIAA JA OHJEITA

Tässä kappaleessa esitetään ne teorit, ohjeet ja kaavat, joita tarvitaan tässä diplomityössä tutkittavan rakennuksen energiankulutuksen laskennassa. Kaavat ovat Suomen Rakentamismääräyskokoelman mukaisia. Energiankulutuksen kaavat ja teorit jotka eivät tämän kyseisen pientalon energiankulutusta koske, on pyritty pääosin jättämään pois. Pois jätetyt kaavat kuitenkin löytyvät Suomen Rakentamismääräyskokoelman osista D3, D5 ja C4.

### 2.1 E-luku

Uudisrakennuksilla käytettävä E-luku otettiin käyttöön heinäkuussa 2012. Uusissa energiamääräyksissä huomioidaan energiantuottomenetelmät. E-luvulla tarkoitetaan rakennuksen vuotuista kokonaisenergiankulutusta. Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D5 (2012) mukaan E-luku on eri energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. Lämmitetyllä nettoalalla tarkoitetaan lämmitettyjen kerrostasojen summaa, kun kerrostasokat lasketaan ulkoseinien sisäpintojen rajojen mukaan. E-luku saadaan, kun lasketaan yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot eri energiamuodoittain. Energiamuotojen kertoimet on esitetty taulukossa 2.1.

*Taulukko 2.1. Energiamuotojen kertoimet, joita käytetään kokonaisenergiankulutuksen laskennassa.*

Energiamuoto	Energiamuodon kerroin
Sähkö	1,7
Kaukolämpö	0,7
Kaukojäähdytys	0,4
Fossiiliset polttoaineet	1,0
Uusiutuvat polttoaineet	0,5

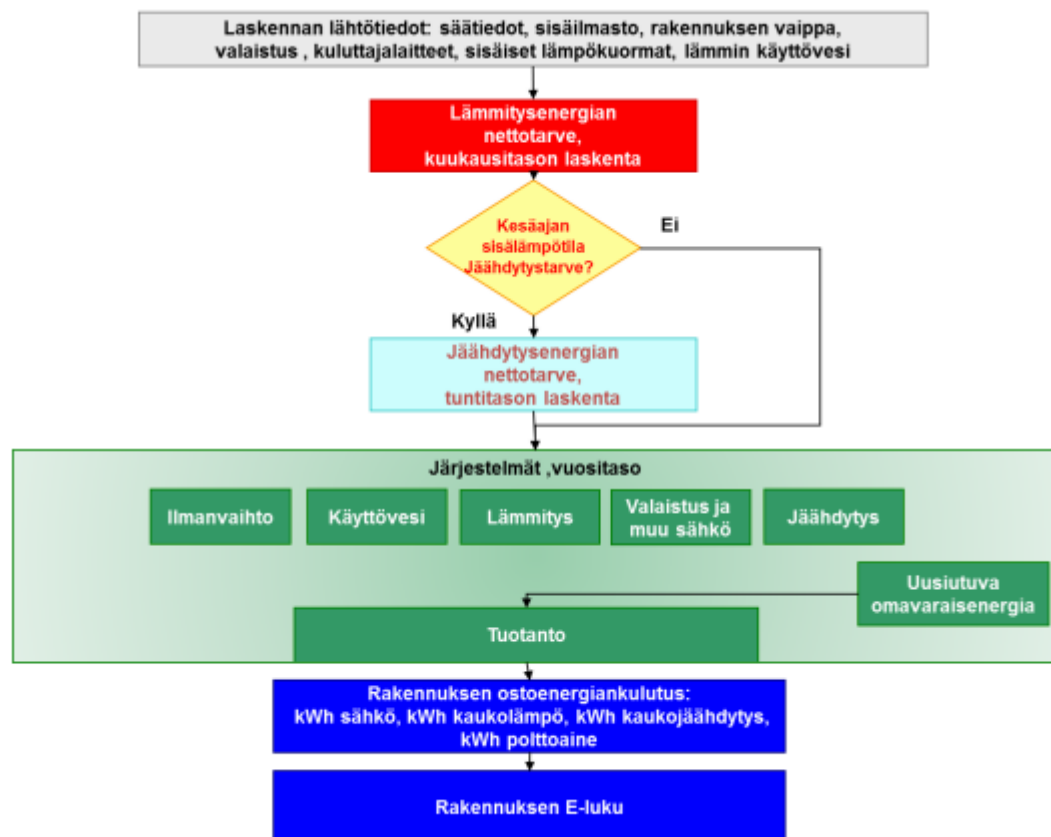
RakMK:n osan D5 (2012) mukaan uusiutuvaa omavaraisenergiaa ei lasketa ostoenergiaksi. Se siis laskee ostoenergian kulutusta. Energiamuotojen kertoimia käytetään vain ostoenergialle.

Rakennuksen ostoenergiankulutus lasketaan rakentamismääräyskokoelman mukaisilla säätiedoilla, sisäilmasto-olosuhteilla, rakennuksen ja järjestelmien käyttö- ja käyntiajoilla sekä sisäisten lämpökuormien lähtöarvoilla. Muut lähtötiedot otetaan rakennuksen suunnitteluasiakirjoista tai käytetään tarkempien tietojen puuttuessa erinäisiä oletusarvoja.

RakMK:n osassa D5 (2012) on kuvattu energiankulutuksen laskentamenetelmä, joka soveltuu jäähdyttämättömille rakennuksille tai sellaisille rakennuksille, joissa on vain yksittäisiä jäähdytettyjä tiloja. Tilojen tarvitsema jäähdytys täytyy laskea siis muilla tavoin. Apuna laskennassa voi käyttää esimerkiksi Jäähdytysjärjestelmien energialas-

kentaoppaan (2011) ohjeita. Kyseisessä oppaassa on esitettyä yksinkertainen laskentamenetelmä ja yksityiskohtainen laskentamenetelmä. RakMK:n osassa D5 (2012) on myös esitetty sama yksinkertainen laskentamenetelmä jäähdytyslaitteiden kuluttaman energian laskemiseksi. Molemmista menetelmistä jäähdytystarve lasketaan jollakin eri menetelmällä, ja Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaoppaan (2011) ohjeilla saadaan jäähdytyslaitteiden energiankulutus laskettua. Jäähdytystarpeet lasketaan tunnin pituista aika-askelta käyttäen tarkoitukseen soveltuvalla energiasimulointiohjelmalla. Sitä ei siis voi tehdä käsinlaskentana. D5:n (2012) muut energiankulutukseen liittyvät laskut on mahdollista tehdä käsinlaskentana. Rakennuksen energiankulutuksen laskenta tehdään D5:n (2012) ohjeissa energiatasemenetelmällä kuukausitasolla, mistä syystä tunnin aika-askelta käyttävä jäähdytyslaskenta ei sovellu laskettavaksi samassa yhteydessä. Vuoden 2007 D5:n versiossa oli vielä kuukausitason jäähdytysenergian laskenta mukana. Tässä diplomityössä on tutkittu vuoden 2007 D5:n ohjeiden mukaan lasketun kuukausitason laskennalla saadun jäähdytykseen kuluvan energian eroavaisuutta tarkempaan tunnin aika-askelta käyttävään IDA-ICE -energiasimuloinnin tuloksiin.

Rakennuksen vaatimuksenmukaisuuden osoittamisessa tulee käyttää määräyksissä annettuja lähtöarvoja, suunnitteluarvoja sekä laskentasääntöjä. Kuvassa 2.1 on esitetty rakennuksen energiankulutuksen laskennan eri vaiheet. Kun laskennan vaiheita seurataan, niin saadaan lopulta selville rakennuksen E-luku.



Kuva 2.1. Rakennuksen energiankulutuksen laskennan kulku (RakMK D5 2012).

E-lukuun johtava laskenta alkaa lähtötietojen selvittämällä, jonka jälkeen selvitetään lämmitysenergian nettotarve. Sitten selvitetään kesäajan sisälämpötila ja mahdollinen tilojen jäähdytystarve. Kesäajan sisälämpötilaa ei tarvitse tutkia tai laskea rakennuksille, jotka kuuluvat käyttötarkoitukseluokkiin 1 tai 9. Niille ei siis tarvitse jäähdytystarvetta tutkia. Jos siis erillisessä pientalossa, rivitalossa tai ketjutalossa käytetään jäähdytystä, niin sitä ei välttämättä kannata sisällyttää E-luvun laskentaan, koska se ei ole pakollista. Näin siis saadaan pienempi eli parempi E-luku rakennukselle. Asuinkerrostaloille, toimisto- ja liikerakennuksille, majoitusliikerakennuksille, opetusrakennuksille ja päiväkodeille, sairaaloille ja liikuntahalleille (ei uima ja jäähallit) täytyy kuitenkin kesäajan sisälämpötilat laskea. Tarvittaessa käytetään jäähdytystä vaadittavan sisälämpötilan ehtojen saavuttamiseksi kesällä. Näillä rakennuksilla jäähdytys sisällytetään kokonaisenergian eli E-luvun laskentaan.

Kun lämmitysenergian ja jäähdytysenergian tarpeet on selvitetty, niin lasketaan järjestelmien energiankulutus vuositasolla. Sitten saadaan laskettua rakennuksen osatoenergiankulutus ja E-luku energiamuotojen kertoimilla painotettuna. Uudisrakennuksen E-luvun yläraja pientalolle lasketaan rakennuksen lämmitetyn nettoalan mukaan. Muille rakennustyypeille on käyttöluokittain vakio yläraja E-luvulle. RakMK:n osasta D3 (2012) otetussa taulukossa 2.2 on esitetty uudisrakennusten E-luvun sallitut ylärajat.

**Taulukko 2.2. E-luvun suurimmat sallitut arvot uudisrakennuksella (RakMK D3 2012).**

Luokka	Lämmitetty nettoala, $A_{\text{netto}}$ $\text{m}^2$	E-luku $\text{kWh}_e/\text{m}^2$ vuosi
Luokka 1 Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalo	Pientalo $A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	204
	$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$372 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
	$150 \text{ m}^2 < A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$173 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
	$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	130
	Hirsitalo $A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	229
	$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$397 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
	$150 \text{ m}^2 < A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$198 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
	$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	155
	Rivi- ja ketjutalo	150
Luokka 2 Asuinkerrostalo		130
Luokka 3 Toimistorakennus		170
Luokka 4 Liikerakennus		240
Luokka 5 Majoitusliikerakennus		240
Luokka 6 Opetusrakennus ja päiväkot		170
Luokka 7 Liikuntahalli pois lukien uima- ja jäähalli		170
Luokka 8 Sairaala		450
Luokka 9 Muut rakennukset ja määräaika-		E-luku on laskettava, mutta sille ei ole asetettu vaatimusta

Kuten taulukosta 2.2 nähdään, niin erillisellä pientalolla ja hirsitalolla on eri E-luvun sallitut maksimiarvot. Hirsitalolla E-luvun yläraja on 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) suurempi kuin lämmitetyltä nettoalaltaan yhtä suurella pientalolla. Uusien rakennusten tulee alittaa rakennustyyppikohtainen E-luvun yläraja.

Niissä tapauksissa joissa rakennuksella on useampi kuin yksi käyttötarkoitus, jaetaan rakennus käyttötarkoituksiluokittain osiin. Osien on tällöin täytettävä E-luvun asettamat vaatimukset omalla käyttötarkoitukseluokallaan. Jos kuitenkin käyttötarkoituksen mukaisen osan ala on alle 10 prosenttia lämmitetystä nettoalasta, voidaan tämä osa laskea muihin aloihin kuuluvaksi.

Rakennuksen ostoenergiankulutukseen sisältyvät lämmitys-, jäähdytys- ja ilmanvaihtojärjestelmien energiankulutus sekä valaistuksesta, kuluttajalaitteista ja järjestelmien apulaitteista aiheutuva energiankulutus. Paikallisesti tuotettu energia on otettu huomioon vähentämällä se laskuissa. Rakennuksen ostoenergiankulutus lasketaan RakMK:n D5:n (2012) mukaisesti kaavalla:

$$E_{\text{osto}} = \frac{Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{lämmitys}} + W_{\text{ilmanvaihto}} + Q_{\text{jäähdytys}} + W_{\text{jäähdytys}} + W_{\text{kuluttajalaitteet}} + W_{\text{valaistus}} - W_{\text{käytetty oma-sähkö}}}{A_{\text{netto}}} \quad (1)$$

missä

$E_{\text{osto}}$	rakennuksen ostoenergiankulutus, kWh/(m <sup>2</sup> a)
$Q_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{ilmanvaihto}}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
$Q_{\text{jäähdytys}}$	jäähdytysjärjestelmän lämpöenergian kulutus (kaukojäähdytys), kWh/a
$W_{\text{jäähdytys}}$	jäähdytysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{kuluttajalaitteet}}$	kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{valaistus}}$	valaistuksen sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{käytetty oma-sähkö}}$	käytetty omavaraissähköenergia rakennuksessa, kWh/a
$A_{\text{netto}}$	rakennuksen lämmitetty nettoala, m <sup>2</sup>

Ostoenergiankulutus lasketaan siis vuotta kohden niin kuin E-lukukin. Käytetyllä omavaraissähköenergialla tarkoitetaan rakennukseen kuuluvilla järjestelmillä tuotettua sähköä, joka on käytetty rakennuksen muiden järjestelmien toimintaan. Jos osa itse tuotetusta sähköstä on toimitettu muualle kuin kyseisen rakennuksen käyttöön, sitä ei lasketa. Itse tuotettu energia tulee käyttää saman rakennuksen toimintaan, jotta se voidaan vähentää ostoenergiankulutusta laskettaessa. Esimerkiksi itse tuotettu, mutta sähköyhtiölle myyty aurinkosähkö ei alenna E-lukua. Rakennuksen ostoenergiankulutus voidaan laskea myös energiamuodoittain kaavalla:

$$E_{\text{osto}} = \frac{Q_{\text{kaukolämpö}} + Q_{\text{kaukojäähdytys}} + \sum_i Q_{\text{polttoaine } i} + W_{\text{sähkö}}}{A_{\text{netto}}} \quad (2)$$



missä

$E_{\text{osto}}$	rakennuksen ostoenergiankulutus, kWh/(m <sup>2</sup> a)
$Q_{\text{kaukolämpö}}$	kaukolämmön kulutus rakennuksessa, kWh/a
$Q_{\text{kaukojäähdytys}}$	kaukojäähdytyksen kulutus rakennuksessa, kWh/a
$Q_{\text{polttoaine } i}$	polttoaineen $i$ sisältämän energian kulutus rakennuksessa, kWh/a
$W_{\text{sähkö}}$	sähkön kulutus rakennuksessa (vähennettynä käytetyllä omavaraissähkö-energialla), kWh/a
$A_{\text{netto}}$	rakennuksen lämmitetty nettoala, m <sup>2</sup>

E-luku eli rakennuksen kokonaisenergiankulutus lasketaan käyttäen energiamuotojen kertoimia. Energiamuotojen kertoimet ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaiset. E-luku saadaan kaavalla:

$$E = \frac{f_{\text{kaukolämpö}} \cdot Q_{\text{kaukolämpö}} + f_{\text{kaukojäähdytys}} \cdot Q_{\text{kaukojäähdytys}} + \sum_i (f_{\text{polttoaine } i} \cdot Q_{\text{polttoaine } i}) + f_{\text{sähkö}} \cdot W_{\text{sähkö}}}{A_{\text{netto}}} \quad (3)$$

missä

$E$	rakennuksen energialuku, kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
$f_{\text{kaukolämpö}}$	energiamuodon kerroin kaukolämmölle
$Q_{\text{kaukolämpö}}$	kaukolämmön kulutus rakennuksessa, kWh/a
$f_{\text{kaukojäähdytys}}$	energiamuodon kerroin kaukojäähdytykselle
$Q_{\text{kaukojäähdytys}}$	kaukojäähdytyksen kulutus rakennuksessa, kWh/a
$f_{\text{polttoaine } i}$	energiamuodon kerroin polttoaineelle $i$
$Q_{\text{polttoaine } i}$	polttoaineen $i$ sisältämän energian kulutus rakennuksessa, kWh/a
$f_{\text{sähkö}}$	energiamuodon kerroin sähkölle
$W_{\text{sähkö}}$	sähkön kulutus rakennuksessa (vähennettynä käytetyllä omavaraissähkö-energialla), kWh/a
$A_{\text{netto}}$	rakennuksen lämmitetty nettoala, m <sup>2</sup>

Rakennuksen energiankulutus tarkoittaa rakennuksen vuotuista lämmitykseen, sähkölaitteisiin, ja jäähdytykseen yhteensä kulutettua energiamäärää. Siihen ei sisälly energiamuotojen kiinteistökohtaisen eikä kiinteistön ulkopuolisen energiantuotannon häviöitä. Rakennuksen energiankulutus saadaan laskettua kaavalla:

$$R_{\text{ek}} = \frac{Q_{\text{lämmitys.tilat}} + Q_{\text{lämmitys.iv}} + Q_{\text{lämmitys.lkv}} + Q_{\text{jk}} + W_{\text{tilat}} + W_{\text{ilmanvaihto}} + W_{\text{lkv.pumppu}} + W_{\text{jäähd.apu}} + W_{\text{kuluttajalaitteet}} + W_{\text{vakaisu}}}{A_{\text{netto}}} \quad (4)$$

missä

$R_{\text{ek}}$	rakennuksen energiankulutus, kWh/(m <sup>2</sup> a)
$Q_{\text{lämmitys.tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{\text{lämmitys.iv}}$	ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{\text{lämmitys.lkv}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{\text{jk}}$	jäähdytysjärjestelmällä tuotettu vuotuinen jäähdytysenergia, kWh/a

$W_{\text{tilat}}$	lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{ilmanvaihto}}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{lkv.pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{jäähd.apu}}$	jäähdytysjärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{kuluttajalaitteet}}$	kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{valaistus}}$	valaistuksen sähköenergian kulutus, kWh/a
$A_{\text{netto}}$	rakennuksen lämmitetty nettoala, m <sup>2</sup>

## 2.2 Energiatodistuksen luokat ja energiatodistus

Rakennuksen tai rakennuksen osan luokittelussa käytettävät energiatodistusluokat ovat A, B, C, D, E, F ja G. Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 (2012) esitetty raja, jota uudisrakennuksen E-luku ei saa ylittää, on sama kuin energiatodistusluokan C yläraja. Rakennukselle tai sen osalle laskettu E-luku pyöristetään Ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen energiatodistuksesta (2013) mukaan ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun. Ylöspäin pyöristäminen on siinä mielessä loogista, että rakennukselle laskettu E-luku ei saa ylittää E-luvulle asetettuja vaatimuksia. Jos alas-päin pyöristäminen sallittaisiin, niin E-luvun vaatimukset saattaisivat ylittyä esimerkiksi 0,4 kWh/(m<sup>2</sup>a) verran.

Erillisten pientalojen energiatodistusluokat lasketaan rakennuksen lämmitetyn nettoalan mukaan. Ympäristöministeriön asetuksesta rakennuksen energiatodistuksesta (2013) otetussa taulukossa 2.3 on esitetty energiatodistusluokkien rajojen laskukaavat, kun erillisen pientalon lämmitetty nettoala on välillä 120 - 150 m<sup>2</sup>. Kyseistä taulukkoa käytettäessä rakennuksen täytyy kuulua käyttötarkoitukseluokkaan, joka on: yhden asunnon talot, kahden asunnon talot, muut erilliset pientalot, tai majoituselinkeinojen harjoittamiseen tarkoitettut loma-asunnot, jotka ovat erillisiä pientaloja.

**Taulukko 2.3. Erillisen pientalon energiatodistuksen luokittelusta, kun rakennuksen lämmitetty nettoala on välillä 120 - 150 m<sup>2</sup> (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 2013).**

$$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$$

Energiatodistusluokka	Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh <sub>E</sub> /m <sup>2</sup> vuosi)
A	E-luku $\leq 150 - 0,47 \times A_{\text{netto}}$
B	$150 - 0,47 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 320 - 1,30 \times A_{\text{netto}}$
C	$320 - 1,30 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 372 - 1,40 \times A_{\text{netto}}$
D	$372 - 1,40 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 452 - 1,40 \times A_{\text{netto}}$
E	$452 - 1,40 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 582 - 1,40 \times A_{\text{netto}}$
F	$582 - 1,40 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 652 - 1,40 \times A_{\text{netto}}$
G	$652 - 1,40 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku}$

Pientalo, joka on lämmitettyltä nettoalaltaan 138,6 m<sup>2</sup> saa energiatodistusluokkaa A:n ylärajaksi 85 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Energiatodistusluokkaa B:n yläraja on kyseisellä rakennuksella 140 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a), C:n yläraja 178 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a), D:n yläraja 258 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a), E:n yläraja 388 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) ja F:n yläraja 458 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Energiatodistusluokalla G ei ole ylärajaa. Luokkaan G päätyy, jos E-luku saa suuremman arvon kuin 458



Jäähdytys voi olla rakennukseen tulevassa tuloilmassa tai se voidaan toteuttaa erillisillä huonekohtaisilla tilajäähdytyslaitteilla. Myös molempia jäähdytystapoja voidaan käyttää.

Rakennuksen jäähdytystarpeelle on Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D3 (2012) asetettu jäähdytysrajaksi 27 °C pientaloille, rivitaloille, ketjutaloille sekä asuinkerrostaloille. Se tarkoittaa, että huonelämpötilan ollessa alle 27 °C ei jäähdytys ole tarpeellista. Lämmitysrajaksi on asetettu 21 °C. Energialaskennassa tulee käyttää näitä arvoja. Tässä diplomityössä tutkitaan jäähdytysrajan muuttamisen vaikutusta koneellisen jäähdytyksen energiantarpeeseen.

Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaoppaassa (2011) on esitettyä yksinkertainen laskentamenetelmä ja yksityiskohtainen laskentamenetelmä jäähdytysjärjestelmän käyttämän energian tarpeen laskemiseksi. Molempia menetelmiä käytettäessä tilojen jäähdytystarve lasketaan jollakin eri menetelmällä. Jäähdytyslaitteiden energiankulutus saadaan laskettua Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaoppaan ohjeilla. Jäähdytystarpeet lasketaan jollakin tarkoitukseen soveltuvalla energiasimulointiohjelmalla dynaamisesti. Tässä diplomityössä käytetään dynaamisena laskentamenetelmänä IDA-ICE-ohjelmaa. Kyseinen ohjelma laskee jäähdytystarpeet, mutta myös jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset. Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaoppaan mukaisia laskentakaavoja ei siis tarvitse käyttää IDA-ICE-laskennan yhteydessä. Laskentaoppaan mukaisia jäähdytyksen häviökertoimia sekä kylmäkertoimia käytetään kyllä IDA-ICE-laskennassa.

### 2.3.1 Yksinkertainen laskentamenetelmä

Jäähdytysjärjestelmien energioiden laskennassa käytettävä yksinkertainen laskentamenetelmä on esitetty Suomen Rakentamismääräyskokoelman Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaoppaassa (2011) sekä RakMK:n osassa D5 (2012). Yksinkertaisessa laskentamenetelmässä jäähdytysjärjestelmän käyttämä vuotuinen energiankulutus arvioidaan ilmanvaihdon tai ilmastoinnin jäähdytyspatterin vuotuisen jäähdytysenergiaan, huonelaitteiden jäähdytysenergiaan sekä jäähdytysjärjestelmän ominaisuuksiin perustuen. Kyseiset vuosienenergiat lasketaan tilojen jäähdytysenergiantarpeen laskennan yhteydessä. Tämä laskenta suoritetaan enintään tunnin pituista aika-askelta apuna käyttäen. Jäähdytysjärjestelmällä tuotettu vuotuinen jäähdytysenergia  $Q_{jk}$  lasketaan kaavalla:

$$Q_{jk} = (1 + \beta_{hji}) \cdot Q_{ji} + (1 + \beta_{hji}) \cdot Q_{jv} \quad (5)$$

missä

$Q_{jk}$	jäähdytysjärjestelmällä tuotettu vuotuinen jäähdytysenergia, kWh/a
$\beta_{hji}$	järjestelmän ilmapuolen häviöt huomioon ottava kerroin
$Q_{ji}$	ilmastointikoneen jäähdytyspatterin käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia, kWh/a
$\beta_{hji}$	järjestelmän vesipuolen häviöt huomioon ottava kerroin
$Q_{jv}$	huonelaitteiden käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia, kWh/a

Laskentatavasta riippuu se, sisältääkö ilmastointikoneen jäähdytyspatterin käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia ilman kosteuden kondensoitumisessa vapautuvaan lämpöenergian jäähdyttämiseen tarvittavan jäähdytysenergian vai ei. Jos se sisältää, niin kyseessä on märkä patteri ja jos ei sisällä, niin kyseessä on kuiva patteri. Tämä otetaan huomioon häviökertoimen valinnassa. Jäähdytyksen häviökertoimien ohjearvoja on esitetty taulukossa 2.4.

**Taulukko 2.4. Jäähdytyksen häviökertoimen ohjearvoja (RakMK Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas, 2011).**

Jäähdytyksen häviökertoimen ohjearvoja			
Jäähdytyksen menoveden lämpötila	$\beta_{hji}^{1)}$	$\beta_{hji}^{2)}$	$\beta_{hiv}$
7 C	0,3	0,6	0,2
10 C	0,2	0,5	0,15
15 C	0,1	0,2	0,1
18 C	0,0	0,0	0,0

1) ei sisällä kondenssihäviötä  
2) sisältää kondenssihäviön

Sähköä jäähdytysenergian tuottamisessa käyttävän järjestelmän vuotuisen sähköenergian tarpeen laskemiselle on oma kaavansa. Tämä kaava on:

$$W_{\text{jäähdytys}} = \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_E} \quad (6)$$

missä

$W_{\text{jäähdytys}}$  vuotuinen jäähdytysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a

$Q_{jk}$  jäähdytysjärjestelmällä tuotettu vuotuinen jäähdytysenergia, kWh/a

$\varepsilon_E$  jäähdytysenergian tuottoprosessin vuotuinen kylmäkerroin

Sorptiojäähdytystä tai kaukojäähdytystä käytettäessä kaava on samantyyppinen. Tällöin lämpö- tai kylmäenergiaa jäähdytysenergian tuottamisessa käyttävän järjestelmän vuotuinen energiantarve lasketaan kaavalla:

$$Q_{\text{jäähdytys}} = \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_Q} \quad (7)$$

missä

$Q_{\text{jäähdytys}}$  lämpö- tai kylmäenergiaa käyttävän jäähdytysjärjestelmän vuotuinen energiantarve, kWh/a

$Q_{jk}$  jäähdytysjärjestelmällä tuotettu vuotuinen jäähdytysenergia, kWh/a

$\varepsilon_Q$  jäähdytysenergian tuottoprosessin vuotuinen kylmäkerroin

Vuotuisien kylmäkertoimien ohjearvoja on esitetty taulukossa 2.5. Taulukon ohjearvojen sijasta voidaan käyttää muita luotettavilla yksityiskohtaisilla menetelmillä määritettyjä arvoja. Sama koskee jäähdytyksen häviökertoimen ohjearvoja.

*Taulukko 2.5. Jäähdytysenergian tuottoprosessin vuotuisien kylmäkertoimien ohjearvoja (RakMK, Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas 2011).*

<b>Jäähdytysenergian tuottoprosessin vuotuisia kylmäkertoimia</b>		
<b>Jäähdytysenergian tuottotapa</b>	<b><math>\varepsilon_E</math></b>	<b><math>\varepsilon_Q</math></b>
Kompressorikylmälaite ilmanlauhdutteen	2,5	-
Kompressorikylmälaite vesilauhdutteen	3	-
Vapaajäähdytys, liuosjäähdytin (kuiva)	5	-
Vapaajäähdytys, jäähdytystorni (märkä)	7	-
Vapaajäähdytys, maaputkisto (vertikaalinen)	30	-
Split laitteet	3	-
Kaukojäähdytys (lämmönsiirrin)	-	1
Absorptiojäähdytys	-	0,7

Jäähdytysenergian tuottoprosessin vuotuinen kylmäkerroin tarkoittaa prosessilla vuosittain tuotetun jäähdytysenergian suhdetta kyseiseen prosessiin vuosittain käytetyn energian määrään. Tuottoprosessissa käytettävään energiaan sisältyy muun muassa lauhdutinkiertoon käytettävä pumppausenergia sekä lauhduttimen puhallinenergia. Jos jäähdytysenergia tuotetaan kahden eri prosessin avulla, niin järjestelmän vuotuinen energiankulutus lasketaan ottaen huomioon kummallakin tuottoprosessilla tuotetun energian suhteellinen osuus. IDA-ICE-ohjelmassa käytetään kylmäkertoimelle nimitystä COP-kerroin.

Lisäksi järjestelmät käyttävät sähköä pumppujen, puhaltimien sekä muiden apulaitteiden toimintoihin jäähdytyksen luovutuksessa ja jakelussa. Apulaitteiden sähkönkulutukseen sisältyvät jäähdytysenergian jakeluun käytettävä pumppausenergia sekä jäähdytysenergian luovutuksen tehostamisessa käytettävä energia. Apulaitteiden sähkönkulutukseen ei kuulu ilmanvaihdon ilman siirtämiseen käyttämä puhallinenergia eikä jäähdytysenergian tuottoprosessissa käytettävä energia. Apulaitteiden sähkönkulutus lasketaan kaavalla:

$$W_{\text{jäähd.apu}} = \beta_{\text{apu}} \cdot Q_{\text{jk}} \quad (8)$$

missä

$W_{\text{jäähd.apu}}$	jäähdytysjärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$\beta_{\text{apu}}$	järjestelmän vuotuinen apulaitteiden sähkönkulutuksen kulutuserroin
$Q_{\text{jk}}$	jäähdytysjärjestelmällä tuotettu vuotuinen jäähdytysenergia, kWh/a

Apulaitteiden kulutuseroin riippuu järjestelmän tyypistä. Kulutuskertoimien ohjearvoja on taulukossa 2.6.

*Taulukko 2.6. Jäähdytyksen apulaitteiden sähkönkulutuksen apulaitteiden kulutuskertoimien ohjearvoja (RakMK, Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas 2011).*

Jäähdytyksen apulaitteiden sähkönkulutuksen kulutuskertoimen ohjearvoja	
Jäähdytysjärjestelmä	$\beta_{apu}$
Vesijärjestelmä, jäähdytyspalkki	0,06
Vesijärjestelmä, puhallinkonvektori	0,08
Ilmajärjestelmä, IMS järjestelmä	0,05

Taulukon 2.6 ohjearvojen sijasta voidaan käyttää yksityiskohtaisella menetelmällä luotettavasti laskettuja muita arvoja. RakMK:n Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopassa (2011) on esitetty lisäksi yksityiskohtainen laskentamenetelmä jäähdytysjärjestelmän energiankulutukselle. Tätä tarkempaa menetelmää ei esitellä tässä yhteydessä, koska jäähdytysenergian määrä lasketaan tässä diplomityössä IDA-ICE-ohjelmalla sekä erikseen RakMK:n osan D5 vuoden 2007 version mukaisella kuukausitason laskentamenetelmällä.

### 2.3.2 Kuukausitason laskentamenetelmä, D5 (2007)

Rakentamismääräyskokoelman osan D5 vuoden 2007 versiossa on esitetty rakennuksen jäähdytysenergian kulutukseen johtava laskenta. Tämä menetelmä on kuukausitasoinen eli siinä käytetään ulkoilman kuukausittaisia keskilämpötiloja. Laskennallisella jäähdytysenergian tarpeella tarkoitetaan sitä osaa lämmityksessä hyödyntämättömästä lämpökuormaenergian määrästä, joka rakennuksesta täytyy poistaa, jotta saadaan haluttu sisälämpötila toteutumaan. Rakennuksen ostettavan jäähdytysenergian kulutus lasketaan kaavalla:

$$Q_{\text{jäähdytys.osto}} = \frac{Q_{\text{jäähdytys.tilat}}}{\epsilon_{\text{jäähdytys}}} \quad (9)$$

missä

$Q_{\text{jäähdytys.osto}}$  rakennuksen ostettavan jäähdytysenergian kulutus ( $W_{\text{jäähdytys.sähkö.osto}}$ , jos jäähdytysenergia tuotetaan kompressorikoneistolla), kWh

$Q_{\text{jäähdytys.tilat}}$  rakennuksen tilojen jäähdytysenergian kulutus (kylmäntuottolaitteen rakennukseen tuottaman kylmäenergian määrä, joka sisältää kylmäntuottolaitteiden lämpöhäviöenergiat rakennuksesta ja verkostoon menevän kylmäenergian), kWh

$\epsilon_{\text{jäähdytys}}$  kylmäntuottolaitteen vuotuinen kylmäkerroin

Kylmäntuottolaitteen vuotuisena kylmäkertoimena käytetään yleensä valmistajan ilmoittamaa varmennettua kylmäkerrointa taikka vapaajäähdytyksen tapauksessa suunnittelijan määrittelemää kylmäkerrointa. Jos laitteen kylmäkerrointa ei ole tiedossa, voidaan käyttää taulukon 2.5 mukaisia arvoja. Rakennuksen tilojen jäähdytysenergian kulutus lasketaan jäähdytysenergian tarpeen ja jäähdytysjärjestelmän hyötysuhteen avulla. Hyötysuhteella otetaan huomioon esimerkiksi jäähdytysjärjestelmän putkiston ja varajien kylmähäviöt. Nämä kylmähäviöt ovat jäähdytysjärjestelmään tuodun kylmäenergian ja jäähdytysenergian erotus.  $Q_{\text{jäähdytys.tilat}}$  saadaan laskettua kaavalla:

$$Q_{\text{jäähdytys.tilat}} = \frac{Q_{\text{jäähdytys.tilat.netto}}}{\eta_{\text{jäähdytys.tilat}}} \quad (10)$$

missä

$Q_{\text{jäähdytys.tilat}}$  rakennuksen tilojen jäähdytysenergian kulutus, kWh

$Q_{\text{jäähdytys.tilat.netto}}$  rakennuksen tilojen jäähdytyksen nettoenergian tarve, kWh

$\eta_{\text{jäähdytys.tilat}}$  tilojen jäähdytysjärjestelmän hyötysuhde

Jäähdytysjärjestelmän hyötysuhteena voidaan käyttää arvoa 0,7, jos tarkempaa tietoa ei ole käytössä. Jäähdytysenergian tarve lasketaan kaavalla:

$$Q_{\text{jäähdytys.tilat.netto}} = (1 - \eta_{\text{lämpö}}) \cdot Q_{\text{lämpökuorma}} - \frac{(T_{\text{s.lask.keskim}} - T_{\text{s}})^{1,1}}{(T_{\text{s}} - T_{\text{u}})} \cdot Q_{\text{lämpöhäviö}} \quad (11)$$

missä

$Q_{\text{jäähdytys.tilat.netto}}$  rakennuksen tilojen jäähdytyksen nettoenergian tarve, kWh

$\eta_{\text{lämpö}}$  lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste

$Q_{\text{lämpökuorma}}$  lämpökuormaenergia eli muulla tavalla kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh

$T_{\text{s.lask.keskim}}$  laskennallinen kuukauden keskimääräinen sisäilman lämpötila (jäähdytyksen asetusarvo), °C

$T_{\text{s}}$  sisäilman lämpötila (lämmityksen asetusarvo), °C

$T_{\text{u}}$  ulkoilman lämpötila (kuukauden keskimääräinen lämpötila), °C

$Q_{\text{lämpöhäviö}}$  rakennuksen lämpöhäviöenergia, kWh

1,1 lämmönsiirron tehostumisen lämpötilatason noustessa huomioon ottava eksponentissa oleva tekijä

Jos eksponentin alla oleva erotus ( $T_{\text{s.lask.keskim}} - T_{\text{s}}$ ) on negatiivinen, niin eksponenttina käytetään lukua 1,0. Kaavasta 11 saadaan ratkaistua kuukauden keskimääräinen sisälämpötila  $T_{\text{s.lask.keskim}}$ . Tällöin kaava on muotoa:



$$T_{s.lask.keskim} = T_s + \left[ \frac{(1 - \eta_{lämpö}) \cdot Q_{lämpökuorma} - Q_{jäähdytys.tilat.netto}}{\frac{Q_{lämpöhäviö}}{(T_s - T_u)}} \right]^{\frac{1}{1,1}} \quad (12)$$

Tällä kaavalla saadaan siis laskettua sisäilman kuukauden keskilämpötila. Jos tutkittavassa rakennuksessa ei ole jäähdytystä, niin  $Q_{jäähdytys.tilat.netto}$  on nolla. Tätä kaavaa on käytetty tässä diplomityössä sisälämpötilan käsinlaskemiseen kuukausitasolla.

Tässä kappaleessa esitetyissä RakMK:n osan D5 vuoden 2007 version mukaisissa kaavoissa esiintyneiden termien laskenta on pyritty tarvittavilta osin esittämään seuraavissa kappaleissa. Osa laskentakaavoista on esitetty sekä vanhan D5:n (2007) että uusimpien D3:n (2012) ja D5:n (2012) mukaisessa muodossa. Energiankulutuslaskelmissa on käytetty uusimpien ohjeiden mukaisia laskentakaavoja lukuun ottamatta jäähdytykseen kuluvan energian ja rakennuksen sisälämpötilan laskentaa, joissa on käytetty vanhan D5:n kaavoja. Niissäkin on pyritty käyttämään vuoden 2012 versioiden mukaisia lämpökuormia.

## 2.4 Lämpökuormista hyödynnettävä energia

Kaikki kaavat, joita tarvitaan rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen laskennassa, on esitetty RakMK:n osien D3 ja D5 vuoden 2012 versioiden mukaisesti. Osasta kaavoista on esitetty myös vuoden 2007 RakMK:n osan D5 versiot, jotta nähdään hieman laskentatapojen muutoksia. Tekstissä on erikseen todettu jos kaavat ovat tämän vanhan version mukaiset. Oletuksena kaavat ovat RakMK:n vuoden 2012 osista D3 ja D5.

Lämpökuorman kaava eroaa RakMK:n osan D5 vuosien 2007 ja 2012 välillä. Vuoden 2007 versiossa otetaan huomioon lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia. Lämpökuormaenergian laskukaavat ovat D5:n 2007 ja 2012 versioissa:

$$Q_{lämpökuormaD52007} = Q_{henk} + Q_{lämmitys.kuorma} + Q_{lkv.kuorma} + Q_{säh} + Q_{aur} \quad (13)$$

$$Q_{lämpökuormaD52012} = Q_{henk} + Q_{lkv.varastointi.kuorma} + Q_{lkv.kierto.kuorma} + Q_{säh} + Q_{aur} \quad (14)$$

missä

$Q_{lämpökuorma}$	lämpökuormaenergia eli muulla tavalla kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh
$Q_{henk}$	henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh
$Q_{säh}$	valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennukseen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh
$Q_{aur}$	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh
$Q_{lämmitys.kuorma}$	tilojen lämmitysjärjestelmästä rakennukseen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh

$Q_{\text{lkv.kuorma}}$  käyttöveden lämmitysjärjestelmästä rakennukseen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh

$Q_{\text{lkv.varastointi.kuorma}}$  lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöstä se osuus, joka tulee lämpökuormaksi rakennukseen sisälle, kWh

$Q_{\text{lkv.kierto.kuorma}}$  lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöstä se osuus, joka tulee lämpökuormaksi rakennukseen sisälle, kWh

Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergian  $Q_{\text{lämmitys.kuorma}}$  laskenta on esitetty RakMK:n osan D5 vuoden 2007 versiossa. Osa lämmityksen lämpöhäviöistä jää rakennuksen vaipan ulkopuolelle, eikä täten tule rakennukseen lämpökuormaksi. Osa lämmöstä siirtyy ulos esimerkiksi roilojen tai vaippaan asennettujen lämmityslaitteiden kautta. Jos parempaa tietoa ei ole, niin lämpökuormaksi lämmityshäviöistä tulee 70 %. RakMK:n osan D5 vuoden 2007 mukainen kaava on:

$$Q_{\text{lämmitys.kuorma}} = 0.7 \cdot Q_{\text{lämmitys.tilat.häviöt}} \quad (15)$$

missä

$Q_{\text{lämmitys.kuorma}}$  tilojen lämmitysjärjestelmästä rakennukseen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh

$Q_{\text{lämmitys.tilat.häviöt}}$  tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia  $Q_{\text{aur}}$  sisältää ikkunoista rakennuksen sisälle suoraan tulevan energian ja välillisesti ikkunaan absorboituneena lämpönä sisälle rakennukseen tulevan energian. Se lasketaan RakMK:n osan D5 (2007 ja 2012) mukaan kaavalla:

$$Q_{\text{aur}} = \Sigma G_{\text{säteily.vaakapinta}} \cdot F_{\text{suunta}} \cdot F_{\text{läpäisy}} \cdot A_{\text{ikk}} \cdot g = \Sigma G_{\text{säteily.pystypinta}} \cdot F_{\text{läpäisy}} \cdot A_{\text{ikk}} \cdot g \quad (16)$$

missä

$Q_{\text{aur}}$  ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh/kk

$G_{\text{säteily.vaakapinta}}$  vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia neliometriä kohden, kWh/(m<sup>2</sup>kk)

$G_{\text{säteily.vaakapinta}}$  pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia neliometriä kohden, kWh/(m<sup>2</sup>kk)

$F_{\text{suunta}}$  muuntokerroin, jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi

$F_{\text{läpäisy}}$  kokonaiskorjauskerroin säteilyn läpäisylle

$A_{\text{ikk}}$  ikkuna-aukon pinta-ala kehys- ja karmirakenteineen, m<sup>2</sup>

$g$  ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

Auringosta tulevan säteilyenergian arvot ovat siis kuukausikohtaisia. Auringon säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin saadaan D5:n (2007 ja 2012) kaavalla:

$$F_{\text{läpäisy}} = F_{\text{kehä}} \cdot F_{\text{verho}} \cdot F_{\text{varjostus}} \quad (17)$$

missä

$F_{\text{läpäisy}}$  kokonaiskorjauskerroin säteilyn läpäisylle

$F_{\text{kehä}}$  kehäkerroin

$F_{\text{verho}}$  verhokerroin

$F_{\text{varjostus}}$  varjostuskerroin

Auringon säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskertoimelle  $F_{\text{läpäisy}}$  voidaan käyttää arvoa 0,75, jos varjostuksia ja pysyviä verhoja ei ole. Kehäkerroin  $F_{\text{kehä}}$  saadaan laskettua kaavalla:

$$F_{\text{kehä}} = \frac{A_{\text{ikk.valoaukko}}}{A_{\text{ikk}}} \quad (18)$$

missä

$F_{\text{kehä}}$  kehäkerroin

$A_{\text{ikk.valoaukko}}$  ikkunan valoaukon pinta-ala, m<sup>2</sup>

$A_{\text{ikk}}$  ikkuna-aukon pinta-ala, sisältää kehys- ja karmirakenteet, m<sup>2</sup>

Kehäkertoimelle  $F_{\text{kehä}}$  voidaan käyttää arvoa 0,75, jos tarkempaa tietoa ei ole. Ikkunan varjostusten korjauskerroin  $F_{\text{varjostus}}$  saadaan laskettua kolmen varjostuskertoimen tulona kaavalla:

$$F_{\text{varjostus}} = F_{\text{ympäristö}} \cdot F_{\text{ylävarjostus}} \cdot F_{\text{sivuvarjostus}} \quad (19)$$

missä

$F_{\text{varjostus}}$  varjostuskerroin

$F_{\text{ympäristö}}$  ympäristön horisontaalisten varjostusten korjauskerroin (esim. maasto, puut ja rakennukset)

$F_{\text{ylävarjostus}}$  ikkunan yläpuolisten vaakasuorien rakenteiden varjostusten korjauskerroin

$F_{\text{sivuvarjostus}}$  ikkunan sivuilla olevien pystysuorien rakenteiden varjostusten korjauskerroin

Ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin  $g$  saatetaan tuntea tai se voidaan mahdollisesti selvittää ikkunanvalmistajalta. Jos sitä ei kuitenkaan tunneta, niin se voidaan laskea kaavalla:

$$g = 0,9 \cdot g_{\text{kohtisuora}} \quad (20)$$

missä

$g$  ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

$g_{\text{kohtisuora}}$  ikkunan valoaukon kohtisuoran auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

Ikkunan valoaukon kohtisuoran auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin  $g_{\text{kohtisuora}}$  määräytyy lasitustyyppin mukaan. Eri lasitustyyppien arvot kohtisuoralle säteilylle löytyvät RakMK:n osan D5 (2012) taulukosta 5.1.

Henkilöistä aiheutuvat lämpökuormat lasketaan D3:n (2012) ohjeiden mukaan, jos halutaan tutkia rakennuksen energiatehokkuuden vaatimuksenmukaisuuden osoittamista. Muissa tarkasteluissa voidaan käyttää D5:n kaavaa. Käytännössä kyse on kuitenkin samasta kaavasta. Henkilöiden luovuttama lämpöenergia voidaan laskea RakMK:n osan D3 vuoden 2012 version mukaan seuraavalla kaavalla:

$$Q_{\text{henk}} = k_{\text{henk}} \cdot P_{\text{henk}} \cdot \frac{\tau_d}{24} \cdot \frac{\tau_w}{7} \cdot \frac{8760}{1000} \quad (21)$$

missä

$Q_{\text{henk}}$	henkilöiden luovuttama lämpöenergia, kWh
$k_{\text{henk}}$	ihmisten käyttöaste rakennuksen käyttöajan aikana
$P_{\text{henk}}$	lämpökuorma ihmisistä, W/m <sup>2</sup>
$\tau_d$	rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa
$\tau_w$	rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa
8760	vuoden tuntien lukumäärä
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos yksiköksi kilowattitunti

Lämpökuorma  $P_{\text{henk}}$  saadaan RakMK:n osan D3 ohjeilla. Henkilötiheyden mukaan suoritettavassa laskennassa käytetään yhden henkilön kokonaislämmönluovutuksena arvoa 125 W. Henkilötiheys määräytyy rakennustyyppikohtaisesti.

Vuoden 2007 ja 2012 D5:n kaavat  $Q_{\text{säh}}$ :lle eroavat toisistaan. Valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennukseen tuleva lämpökuorma lasketaan RakMK:n osan D5 vuosien 2007 ja 2012 kaavoilla seuraavilla tavoilla:

$$Q_{\text{sähD52007}} = 1.0(W_{\text{sisävalaistus}} + W_{\text{tuloilmapuhallin}} + W_{\text{muut_pienlaitteet}}) + 0.5 \cdot (W_{\text{liesi}} + W_{\text{pesukoneet}} + W_{\text{kiuas}}) \quad (22)$$

$$Q_{\text{sähD52012}} = W_{\text{valaistus}} + W_{\text{kuluttajalaitteet}} \quad (23)$$

missä

$Q_{\text{säh}}$	valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennukseen sisälle vapautuva lämpökuormaenergia, kWh
$W_{\dots}$	alaindeksin mukainen sähköenergiankulutus, kWh

Lämpimän veden käyttämisen yhteydessä lämpöä vapautuu rakenteisiin ja huoneilmaan. Jos tarkempaa tietoa ei ole, niin RakMK:n osan D5 vuoden 2007 version mukaan lämpökuormaksi tulevana osuutena voidaan käyttää 50 % käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta ja 30 % käyttöveden lämmityksen tarvitsemasta lämpöenergiasta. Vuoden 2012 RakMK:n osassa D5 lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin häviöistä lämpökuormaksi rakennukselle tuleva osuus on 50 %.

$Q_{\text{sis.lämpö}}$  on lämpökuormien energia, joka hyödynnetään lämmityksessä. Se lasketaan RakMK:n osan D5 (2012) mukaisesti kaavalla:

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} \cdot Q_{\text{lämpökuorma}} \quad (24)$$

missä

$Q_{\text{sis.lämpö}}$  lämmityksessä hyödynnettävät lämpökuormat, kWh

$\eta_{\text{lämpö}}$  lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste

$Q_{\text{lämpökuorma}}$  lämpökuormaenergia eli muulla tavalla kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh

Rakennuksen lämpöhäviöenergia on johtumisen, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviöenergia, josta tarvittaessa vähennetään tuloilman jälkilämmityspatterin energiankulutus. Lämpöhäviöenergia lasketaan RakMK:n osan D5 (2007) mukaan kaavalla:

$$Q_{\text{lämpöhäviö}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv}} - Q_{\text{lämmitys.tuloilmapatteri}} \quad (25)$$

missä

$Q_{\text{lämpöhäviö}}$  rakennuksen lämpöhäviöenergia, kWh

$Q_{\text{joht}}$  rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, kWh

$Q_{\text{vuotoilma}}$  vuotoilman lämmityksen tarvitseva energia, kWh

$Q_{\text{iv}}$  ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh

$Q_{\text{lämmitys.tuloilmapatteri}}$  tuloilman jälkilämmityspatterin energiankulutus, kWh

Jos sisälämpötilan kohoaminen ei vaikuta säätöjärjestelmän kautta tuloilman lämmityslämpötilaan, niin tuloilman jälkilämmitys pienentää tilan lämpöhäviöenergiaa. Jos taas säätöjärjestelmä alentaa tuloilman lämmityslämpötilaa kun sisälämpötila nousee, niin tuloilman jälkilämmityksen energiankulutusta ei tarvitse vähentää lämpöhäviöenergiaa laskettaessa.

Lämpökuormien lämpöenergian hyödyntämisaste  $\eta_{\text{lämpö}}$  riippuu lämpökuormaenergian ja lämpöhäviöenergian suhteesta sekä rakennuksen aikavakiosta  $\tau$ . Perustapauksessa lämpökuormien hyödyntämisaste lasketaan D5:n (2007 ja 2012) mukaan kaavalla:

$$\eta_{\text{lämpö}} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (26)$$

missä

$\eta_{\text{lämpö}}$  lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste

$\gamma$  lämpökuormaenergian  $Q_{\text{lämpökuorma}}$  suhde lämpöhäviöenergiaan  $Q_{\text{lämpöhäviö}}$

$a$  numeerinen parametri, joka riippuu aikavakiosta  $\tau$

Sellaisissa tapauksissa, joissa lämpökuormaenergian suhde lämpöhäviöenergiaan on  $\gamma = 1$ , lasketaan  $\eta_{\text{lämpö}}$  eri kaavalla. Silloin hyödyntämisasteen  $\eta_{\text{lämpö}}$  kaava on D5:n (2007 ja 2012) mukaan:

$$\eta_{\text{lämpö}} = \frac{a}{a + 1} \quad (27)$$

missä

$\eta_{\text{lämpö}}$             lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste  
 $a$                     numeerinen parametri, joka riippuu aikavakiosta  $\tau$

Kaavaa varten täytyy selvittää numeerisen parametrin  $a$  arvo. Se saadaan laskettua D5:n (2007 ja 2012) mukaisesti kaavalla:

$$a = 1 + \frac{\tau}{15} \quad (28)$$

missä

$a$                     numeerinen parametri, joka riippuu aikavakiosta  $\tau$   
 $\tau$                     rakennuksen aikavakio, h

Tätä kaavaa varten tulee selvittää suhdeluku  $\gamma$ . Se saadaan D5:n (2007 ja 2012) kaavasta:

$$\gamma = \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{Q_{\text{lämpöhäviö}}} \quad (29)$$

missä

$\gamma$                     lämpökuormaenergian suhde lämpöhäviöenergiaan  
 $Q_{\text{lämpökuorma}}$     lämpökuormaenergia eli muulla tavalla kuin säätölaitteilla ohjatun lämmityksen kautta rakennuksen sisälle vapautuva lämpöenergia, kWh  
 $Q_{\text{lämpöhäviö}}$       rakennuksen lämpöhäviöenergia, kWh

Rakennuksen aikavakio  $\tau$  on rakennuksen sisäpuolen tehollisen lämpökapasiteetin ja rakennuksen ominaislämpöhäviön suhde. Aikavakio lasketaan D5:n (2007 ja 2012) mukaisesti kaavalla:

$$\tau = \frac{C_{\text{rak}}}{H} \quad (30)$$

missä

$\tau$                     rakennuksen aikavakio, h  
 $C_{\text{rak}}$               rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti, Wh/K  
 $H$                     rakennuksen ominaislämpöhäviö, W/K

Rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti  $C_{rak}$  voidaan laskea käyttäen rakennetyypin tehollisen lämpökapasiteetin arvoja  $C_{rak}$  omin. Ne löytyvät seuraavasta taulukosta 2.7, joka löytyy myös RakMK:n osan D5 vuosien 2007 ja 2012 versioista.  $C_{rak}$  omin-arvot kerrotaan lämmitetyllä nettopinta-alalla. Jos rakennuksen eri osissa on lämpökapasiteetiltaan toisistaan eroavia rakenneosia, voidaan laskennassa käyttää pinta-aloilla painotettua lämpökapasiteetin keskiarvoa.

*Taulukko 2.7. Tehollisen lämpökapasiteetin arvoja eri rakennustyypeille kalusteineen (RakMK D5 2012).*

Rakennetyyppi	Esimerkkirakenteita (US on ulkoseinä, VS väliseinä, VP välipohja, YP yläpohja ja AP on alapohja)	$C_{rak}$ omin, Wh/(m <sup>2</sup> K)
Pientalot		
Kevytrakenteinen	US, VS, YP, AP kevyitä rankarakenteita	40
Keskiraskas I	US, VS, YP kevyitä rankarakenteita, AP betoni	70
Keskiraskas II	US harkko tai massiivihirsi, VS, YP kevyitä rankarakenteita, AP betoni	110
Raskasrakenteinen	US betoni tai tiili, VS harkko tai tiili, YP, AP betoni	200
Asuinkerrostalot		
Kevytrakenteinen	US, VS, VP kevyitä rankarakenteita, AP betoni	40
Keskiraskas	US kevyitä rankarakenteita, VS kevyitä rankarakenteita tai betoni, VP betoni, AP betoni	160
Raskasrakenteinen	US betoni, VS harkko tai betoni, VP betoni, AP betoni	220
Toimistorakennukset		
Kevytrakenteinen	US, VS, VP kevyitä rankarakenteita, AP betoni	70
Keskiraskas	US kevyitä rankarakenteita, VS kevyitä rankarakenteita tai betoni, VP betoni, AP betoni	110
Raskasrakenteinen	US betoni, VS harkko tai betoni, VP betoni, AP betoni	160
Muut rakennukset		
Sovelletaan taulukon arvoja tai tehollinen lämpökapasiteetti lasketaan esimerkiksi standardien SFS-EN ISO 13786 tai SFS-EN ISO 13790 mukaan.		

Rakennuksen ominaislämpöhäviö on johtumisen, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, josta tarvittaessa vähennetään tuloilman jälkilämmityksen laskennallinen ominaislämpöhäviö. Ominaislämpöhäviö saadaan laskettua RakMK:n osan D5 vuosien 2007 ja 2012 versioiden mukaisesti kaavoilla:

$$H_{D52007} = \frac{Q_{\text{lämpöhäviö}}}{(T_s - T_u) \cdot \Delta t} \cdot 1000 \quad (31)$$

$$H_{D52012} = \frac{Q_{\text{tila}}}{(T_s - T_u) \cdot \Delta t} \cdot 1000 \quad (32)$$

missä

H	rakennuksen ominaislämpöhäviö, W/K
$Q_{\text{lämpöhäviö}}$	rakennuksen lämpöhäviöenergia, kWh
$Q_{\text{tila}}$	rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve, kWh
$T_s$	sisäilman lämpötila (lämmityksen asetusarvo), °C

$T_u$	ulkoilman lämpötila (kuukauden keskimääräinen lämpötila), °C
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos yksiköksi watti

## 2.5 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus lasketaan RakMK:n osan D5 vuoden 2012 version ohjeiden mukaisesti. Se lasketaan tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeista niin, että otetaan huomioon lämmönluovutuksen, lämmönjaon ja lämmön varastoinnin häviöt sekä lämmöntuoton vaikutus.

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus muodostuu lämmitysenergian kulutuksesta ja sähköenergian kulutuksesta. Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus saadaan kaavalla:

$$Q_{\text{lämmitys}} = \frac{Q_{\text{lämmitys.tilat}} + Q_{\text{lämmitys.iv}} + Q_{\text{lämmitys.lkv}} - Q_{\text{aurinko.lkv}} - Q_{\text{muu_tuotto}}}{\eta_{\text{tuotto}}} \quad (33)$$

missä

$Q_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a
$Q_{\text{lämmitys.tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{\text{lämmitys.iv}}$	ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{\text{lämmitys.lkv}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{\text{aurinko.lkv}}$	aurinkokeräimellä tuotettu energia lämpimälle käyttövedelle, kWh/a
$Q_{\text{muu tuotto}}$	muilla tuottojärjestelmillä tuotettu energia, kWh/a
$\eta_{\text{tuotto}}$	lämmitysenergian tuoton hyötysuhde tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä

Vuosihyötysuhteet  $\eta_{\text{tuotto}}$  löytyvät D5:n (2012) taulukoista. Jos rakennuksessa on useampi lämmöntuottojärjestelmä, niin lämmitysenergian kulutus lasketaan järjestelmittäin.

Jos rakennuksessa on varaava tulisija, niin vaatimuksenmukaisuutta tutkittaessa sen tuottona käytetään RakMK:n osan D3 mukaisia arvoja. Kokonaishyötysuhteena luovutuksesta ostoenergiaan käytetään arvoa 0,60, jos tarkempaa tietoa ei ole. Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus lasketaan järjestelmien summana kaavalla:

$$W_{\text{lämmitys}} = W_{\text{tilat}} + W_{\text{tuotto.apu}} + W_{\text{lkv.pumppu}} + W_{\text{aurinko.pumput}} + W_{\text{LP.lämmitys}} \quad (34)$$

missä

$W_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{tilat}}$	lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{tuotto.apu}}$	lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{lkv.pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertopumpun kuluttama sähköenergia, kWh/a
$W_{\text{aurinko.pumput}}$	aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergian kulutus, kWh/a
$W_{\text{LP.lämmitys}}$	lämpöpumppujärjestelmän kuluttama sähköenergia, kWh/a



Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutusta  $W_{\text{tuotto.apu}}$  laskettaessa tarvitsee tietää apulaitteen ominaiskulutus. Jos apulaitteen ominaiskulutusta ei tiedetä, niin ohjearvoja sille löytyy D5:stä. Lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus saadaan laskettua kaavalla:

$$W_{\text{tuotto.apu}} = e_{\text{tuotto}} \cdot A_{\text{netto}} \quad (35)$$

missä

$W_{\text{tuotto.apu}}$	lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden kuluttama sähköenergia, kWh/a
$e_{\text{tuotto}}$	apulaitteiden ominaiskulutus, kWh/(m <sup>2</sup> a)
$A_{\text{netto}}$	rakennuksen lämmitetty nettoala, m <sup>2</sup>

Tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve lasketaan lämmönjakojärjestelmittäin. Jos tilan nettolämmitystarpeen kattamiseen käytetään useampaa lämmönjakojärjestelmää, niin järjestelmät lasketaan erikseen siten, että tilan lämmitysenergian nettotarpeena käytetään laskettavan järjestelmän kattamaa osuutta. Tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla:

$$Q_{\text{lämmitys.tilat}} = \frac{Q_{\text{lämmitys.tilat.netto}}}{\eta_{\text{lämmitys.tilat}}} + Q_{\text{jakelu.ulos}} + Q_{\text{varastointi.ulos}} \quad (36)$$

missä

$Q_{\text{lämmitys.tilat}}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, joka katetaan laskettavalla lämmönjakojärjestelmällä, kWh/a
$Q_{\text{lämmitys.tilat.netto}}$	tilojen lämmitysenergian nettotarve, joka katetaan laskettavalla lämmönjakojärjestelmällä, kWh/a
$\eta_{\text{lämmitys.tilat}}$	hyötysuhde laskettavalle lämmönjakojärjestelmälle
$Q_{\text{jakelu.ulos}}$	lämmönjakojärjestelmän lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, kWh/a
$Q_{\text{varastointi.ulos}}$	laskettavan lämmönjakojärjestelmän varastoinnin lämpöhäviö, kWh/a

On tapauksia, joissa osa tilojen lämmitysenergian nettotarpeesta katetaan suoraan tilaan lämpöenergiaa luovuttavalla lämmitysjärjestelmällä. Tällaisia ovat esimerkiksi tulisija tai ilma-ilmalämpöpumppu. Nämä lämpöenergiat vähennetään aina ensimmäisenä  $Q_{\text{lämmitys.tilat.netto}}$  -kokonaisarvosta. Jäljelle jäävä osuus jaetaan tilojen lämmitysjärjestelmille ja otetaan huomioon kaavan 36 mukaisesti. Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutuksen laskennassa voidaan olettaa, että ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin hyötysuhde on 1,0.

Lämmittämättömällä tilalla tarkoitetaan esimerkiksi ulkoilmaa, maata tai kylmää autotallia. Lämmönjakojärjestelmän lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan  $Q_{\text{jakelu.ulos}}$  lasketaan kaavalla:

$$Q_{\text{jakelu.ulos}} = q_{\text{jakeluhäviöt.ulos}} \cdot L \quad (37)$$

missä

$Q_{\text{jakelu.ulos}}$	lämmönjakojärjestelmän lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, kWh/a
$q_{\text{jakelu.ulos}}$	lämmönjakojärjestelmän ominaislämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, kWh/(m a)
$L$	lämmönjakojärjestelmän meno- ja paluuputkien yhteenlaskettu pituus lämmittämättömässä tilassa, m

RakMK:n osan D5 vuoden 2012 version taulukossa 6.1 esitetään ohjearvoja lämmönjakoputkien ominaislämpöhäviölle. Ne esitetään rakennustyyppin ja putkien sijoituksen mukaan.

Lämmönjakojärjestelmän apulaitteita ovat esimerkiksi kiertopumput ja säätölaitteet. Niiden sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla:

$$W_{\text{tilat}} = e_{\text{tilat}} \cdot A_{\text{netto}} \cdot i \quad (38)$$

missä

$W_{\text{tilat}}$	lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
$e_{\text{tilat}}$	lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian ominaiskulutus, kWh/(m <sup>2</sup> a)
$A_{\text{netto},i}$	lämmönjakojärjestelmän kattaman rakennuksen osan i lämmitetty netto-ala, m <sup>2</sup>

Lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähköenergian ominaiskulutuksia on esitetty RakMK:n osan D5 vuoden 2012 version taulukossa 6.2. Siinä on esitettyä myös lämmönjaon ja -luovutuksen vuosihyötysuhteiden ominaisarvoja.

Lämpimän käyttöveden lämpöenergian kaavassa otetaan huomioon varastoinnin lämpöhäviö ja kierron lämpöhäviö. Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla:

$$Q_{\text{lämmitys.lkv}} = \frac{Q_{\text{lkv.netto}}}{\eta_{\text{lkv.sirto}}} + Q_{\text{lkv.varastointi}} + Q_{\text{lkv.kierto}} \quad (39)$$

missä

$Q_{\text{lämmitys.lkv}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{\text{lkv.netto}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh/a
$\eta_{\text{lkv.sirto}}$	hyötysuhde lämpimän käyttöveden siirrolle
$Q_{\text{lkv.varastointi}}$	lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö, kWh/a
$Q_{\text{lkv.kierto}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviö, kWh/a

Hyötysuhde lämpimän käyttöveden siirrolle kattaa käyttöveden jakojohdon häviöt. Siirron hyötysuhteena voidaan käyttää D5:n rakennustyyppikohtaisia hyötysuhteita, jos

tarkempaa tietoa ei ole. Lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviönä voidaan käyttää D5:n mukaisia varaajan tilavuudesta ja eristepaksuudesta määräytyvää häviötä, jos parempaa tietoa ei ole. Kaava lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviön laskemiseen, jos kiertojohtoon ei ole kytkettynä laitteita, on:

$$Q_{\text{lkv.kierto}} = \left( \phi_{\text{lkv.kiertohäviö.omin}} \cdot L_{\text{lkv}} \right) \cdot \frac{t_{\text{lkv.pumppu}} \cdot 365}{1000} \quad (40)$$

missä

$Q_{\text{lkv.kierto}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö, kWh/a
$\phi_{\text{lkv.kiertohäviö.omin}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho, W/m
$L_{\text{lkv}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus, m
$t_{\text{lkv.pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika, h/vrk

Pumpun käyttöaikana käytetään 24 h/vrk. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaistehona voidaan käyttää arvoa 40 W/m, jos parempaa tietoa ei ole. Jos kiertojohdon lämmöneristystaso on tiedossa, voidaan käyttää taulukossa 2.8 esitettyjä lämpöhäviön ominaistehoja. Kiertojohdon ominaispituutena voidaan käyttää D5:ssä (2012) esitettyjä arvoja, jos tarkempaa tietoa ei ole.

**Taulukko 2.8. Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho ja lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho (RakMK D5 2012).**

Eristystaso	Kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho $\phi_{\text{lkv.kiertohäviö.omin}}$
ei tietoa	40 W/m
0,5 D	10 W/m
1,5 D	6 W/m
suojaputki	15 W/m
suojaputki + 0,5 D	8 W/m
suojaputki + 1,5 D	5 W/m
Lämmityslaitteiden lukumäärä	Kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho
lukumäärää ei tiedossa	lisäys kiertojohdon lämpöhäviön ominaistehoon $\phi_{\text{lkv.kiertohäviö.omin}} + 40 \text{ W/m}$
lukumäärä tiedossa	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho $\phi_{\text{lkv.lämmitys.omin}} 200 \text{ W/kpl}$

Merkintä 0,5 D tarkoittaa eristyspaksuutta, joka on puolet eristettävän putken ulkohalkaisijasta. Merkintä 1,5 tarkoittaa eristyspaksuutta, joka on 1,5-kertainen eristettävän putken ulkohalkaisijaan nähden.

Taulukosta 2.8 löytyvät myös lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen laitteiden ominaistehot. Tällaisia laitteita ovat kuivaukseen käytettävät lämmityslaitteet. Lämpimän käyttöveden kiertopumpun kuluttama sähköenergia saadaan laskettua kaavalla:

$$W_{\text{lkv.pumppu}} = P_{\text{lkv.pumppu}} \cdot t_{\text{lkv.pumppu}} \cdot \frac{365}{1000} \quad (41)$$

missä

$W_{\text{lkv.pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertopumpun kuluttama sähköenergia, kWh/a
$P_{\text{lkv.pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun sähkömoottorin ottoteho, W
$t_{\text{lkv.pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika, h/vrk

Pumpun sähkömoottorin ottoteholle voidaan käyttää paremman tiedon puuttuessa arvoa 200 W/dm<sup>3</sup>/s kerrottuna mitoitetulla virtaamalla. Jos käyttövettä lämmitetään aurinkokeräimellä, lasketaan myös sen osuus kaavalla:

$$Q_{\text{aurinko.lkv}} = q_{\text{aurinkokeräin}} \cdot A_{\text{aurinkokeräin}} \cdot k_{\text{aurinkokeräin}} \quad (42)$$

missä

$Q_{\text{aurinko.lkv}}$	aurinkokeräimellä tuotettu energia lämpimälle käyttövedelle, kWh/a
$q_{\text{aurinkokeräin}}$	aurinkokeräimen energiantuotto käyttöveteen keräimen pinta-alaa kohti, kWh/(m <sup>2</sup> a)
$A_{\text{aurinkokeräin}}$	aurinkokeräimen pinta-ala, m <sup>2</sup>
$k_{\text{aurinkokeräin}}$	kerroin, joka ottaa huomioon aurinkokeräimen suuntauksen

Aurinkokeräimen energiantuottona käyttöveteen keräimen pinta-alaa kohden  $q_{\text{aurinkokeräin}}$  voidaan käyttää RakMK:n osan D5 (2012) mukaisia vyöhykkeestä riippuvia arvoja. Keräimen suuntauksen huomioon ottavana kertoimena voidaan käyttää myös D5:n mukaan määritettäviä arvoja. Aurinkoenergian osuus lämpimän käyttöveden lämmitysenergiasta saa olla korkeintaan 40 %. Osuus voi olla suurempikin, jos laskennassa käytetään tarkempia menetelmiä. Aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergian kulutus saadaan kaavalla:

$$W_{\text{aurinko.pumput}} = \sum (P_{\text{pumppu } i} \cdot t_{\text{pumppu } i}) \cdot \frac{1}{1000} \quad (43)$$

missä

$W_{\text{aurinko.pumput}}$	aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergian kulutus, kWh/a
$P_{\text{pumppu } i}$	yksittäisen pumpun i teho, W
$t_{\text{pumppu } i}$	pumpun i käyttöaika, h

Jos suunnitteluarvoista ei ole yksityiskohtaisia tietoja, niin pumpun tehon suunnitteluarvo voidaan laskea RakMK:n osan D5 (2012) mukaisella kaavalla. Tämä kaava on:

$$P_{\text{pumppu}} = 50\text{W} + 5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot A_{\text{aurinkokeräin}} \quad (44)$$

missä

$P_{\text{pumpu}}$  aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköteho, W  
 $A_{\text{aurinkokeräin}}$  aurinkokeräimen pinta-ala, m<sup>2</sup>

RakMK:n osan D5 vuoden 2012 versiossa on esitetty yksinkertainen laskentamenetelmä, jolla voidaan laskea lämpöpumpun sähköenergian kulutus, lämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia sekä tilojen ja käyttöveden lämmitykseen tarvittava lisälämmitysenergia. Lämpöpumpulla tuotettava tilojen lämmitysenergia ja käyttöveden lämmitysenergia lasketaan kaavoilla:

$$Q_{\text{LP.lämmitys.tilat}} = Q_{\text{lämmitys.tilat}} - Q_{\text{lisälämmitys.tilat}} \quad (45)$$

$$Q_{\text{LP.lämmitys.lkv}} = Q_{\text{lämmitys.lkv}} - Q_{\text{lisälämmitys.lkv}} \quad (46)$$

missä

$Q_{\text{LP.lämmitys.tilat}}$  lämpöpumpulla tuotettu tilojen lämmitysenergia, kWh  
 $Q_{\text{lämmitys.tilat}}$  tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh  
 $Q_{\text{lisälämmitys.tilat}}$  tilojen lisälämmityksen energiantarve, kWh  
 $Q_{\text{LP.lämmitys.lkv}}$  lämpöpumpulla tuotettu käyttöveden lämmitysenergia, kWh  
 $Q_{\text{lämmitys.lkv}}$  lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh  
 $Q_{\text{lisälämmitys.lkv}}$  lämpimän käyttöveden lisälämmityksen energiantarve, kWh

Lisälämmityksen energiantarve saadaan laskettua D5:sta (2012) löytyvien lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian osuuden arvojen avulla. Lisälämmityksen energiantarve tiloille ja käyttövedelle saadaan laskettua kaavoilla:

$$Q_{\text{lisälämmitys.tilat}} = \left( 1 - \frac{Q_{\text{LP}}}{Q_{\text{lämmitys.tilat.lkv}}} \right) \cdot Q_{\text{lämmitys.tilat}} \quad (47)$$

$$Q_{\text{lisälämmitys.lkv}} = \left( 1 - \frac{Q_{\text{LP}}}{Q_{\text{lämmitys.tilat.lkv}}} \right) \cdot Q_{\text{lämmitys.lkv}} \quad (48)$$

missä

$Q_{\text{lisälämmitys.tilat}}$  tilojen lisälämmityksen energiantarve, kWh  
 $Q_{\text{LP}}/Q_{\text{lämmitys.tilat.lkv}}$  lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta  
 $Q_{\text{lämmitys.tilat}}$  tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh  
 $Q_{\text{lisälämmitys.lkv}}$  lämpimän käyttöveden lisälämmityksen energiantarve, kWh  
 $Q_{\text{lämmitys.lkv}}$  lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh

Lämpöpumppu otetaan lämmityksen sähköenergian kulutusta laskettaessa huomioon vain siltä ajanjaksolta kuin lämpöpumppua käytetään. Lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun sähköenergian kulutus saadaan laskettua kaavalla:

$$W_{LP.lämmitys} = \frac{Q_{LP.lämmitys.tilat}}{SPF_{tilat}} + \frac{Q_{LP.lämmitys.lkv}}{SPF_{lkv}} + W_{lisälämmitys} \quad (49)$$

missä

$W_{LP.lämmitys}$	lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
$Q_{LP.lämmitys.tilat}$	lämpöpumpulla tuotettu tilojen lämmitysenergia, kWh
$SPF_{tilat}$	tilojen lämmityksessä lämpöpumpun SPF-luku (Seasonal Performance Factor)
$Q_{LP.lämmitys.lkv}$	lämpöpumpulla tuotettu käyttöveden lämmitysenergia, kWh
$SPF_{lkv}$	käyttöveden lämmityksessä lämpöpumpun SPF-luku (Seasonal Performance Factor)
$W_{lisälämmitys}$	tilojen ja käyttöveden lämmityksen sähköenergian tarve ( $Q_{lisälämmitys.tilat} + Q_{lisälämmitys.lkv}$ ), kWh

SPF-luvulla tarkoitetaan Lämpöpumppujen energialaskentaoppaan (2012) mukaan lämpöpumpun vuoden keskimääräistä lämpökerrointa, joka on lämpöpumpulla tuotetun vuotuisen energian suhde lämpöpumpun ja apulaitteiden vuotuisen energiankulutukseen. Lämpöpumppujen SPF-lukuja löytyy RakMK:n osasta D5 (2012). Niitä voi käyttää, jos tarkempaa tietoa ei ole saatavissa. Ulkoilmalämpöpumppua käytettäessä sähköenergian kulutus lasketaan vain niiden tilojen osalta joiden vaikutuspiirissä kyseinen ilma-ilmalämpöpumppu on. Kyseisten tilojen lämmitysenergian kulutus täytyy siis laskea erikseen.

Esitetään vielä miten lasketaan lämpöpumpun apulaitteiden kuluttama sähköenergia, joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin. Tämä saadaan laskettua kaavalla:

$$W_{LP.apu} = \frac{P_{apu}}{\Delta t} \quad (50)$$

missä

$W_{LP.apu}$	lämpöpumpun apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh
$P_{apu}$	lämpöpumpun apulaitteiden sähköteho, kW
$\Delta t$	apulaitteiden käyttöaika laskentajaksolla, h

## 2.6 Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus saadaan laskettua kun tiedetään ilmanvaihtokoneen ilmavirta. Ilmavirta saadaan RakMK:n osasta D3 (2012) rakennustyypeittäin. Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus lasketaan D5:n (2012) mukaisesti kaavalla:

$$W_{ilmanvaihto} = \Sigma SFP \cdot q_v \cdot \Delta t + W_{iv.muu} \quad (51)$$

missä

$W_{\text{ilmanvaihto}}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
SFP	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho (Specific Fan Power), kW/(m <sup>3</sup> /s)
$q_v$	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$\Delta t$	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskentajaksolla, h
$W_{\text{iv.muu}}$	muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus, kWh

SFP-luku kertoo Jukka Mannerin opinnäytetyön, SFP-luku LVI-suunnittelussa (2013), mukaan kuinka paljon sähkötehoa tarvitaan ilman kuljettamiseen rakennuksessa. Se on siis ilmanvaihtokoneen tai puhaltimen sähköteho jaettuna sen ilmavirralla. Ilmanvaihto suunnitellaan yleensä niin, ettei koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho ylitä arvoa 2,0 kW/(m<sup>3</sup>/s) eikä koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaisarvo ylitä arvoa 1,0 kW/(m<sup>3</sup>/s).

Muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus  $W_{\text{iv.muu}}$  tarkoittaa esimerkiksi lämmöntalteenottojärjestelmän pumppujen ja pyörivän lämmöntalteenottolaitteen moottorin sähkönkulutusta. Tämä  $W_{\text{iv.muu}}$  lasketaan kaavalla:

$$W_{\text{iv.muu}} = \Sigma P_{\text{muu}} \cdot \frac{\Delta t}{1000} \quad (52)$$

missä

$W_{\text{iv.muu}}$	muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus, kWh
$P_{\text{muu}}$	muiden ilmanvaihtojärjestelmän laitteiden kuin puhaltimien ja niiden säätölaitteiden sähköteho, W
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h

## 2.7 Lämpötilaolot rakennuksen sisällä

Sisäilman lämpötiloille on asetettu rajoituksia Suomen Rakentamismääräyskokoelmassa. Lisäksi Sisäilmastoluokituksessa on asetettu vaatimuksia lämpötiloille. Sisäilmastoluokituksen tavoitearvot eivät ole sitovia. Ne voidaan haluttaessa ottaa suunnitteluvaiheessa huomioon, mutta muuten niitä ei ole pakollista noudattaa.

### 2.7.1 Sisäilman lämpötilarajat Rakentamismääräyskokoelmassa

Kesäajan huonelämpötila ei saa ylittää Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) mukaista jäähdytysrajan arvoa enempää kuin 150 astetuntia kesäkuun, heinäkuun ja elokuun aikana niillä rakennustyypeillä, joille täytyy tehdä kesäajan sisälämpötilatarkastelu. Astetunti tarkoittaa ajan ja tietyn lämpötilan ylityksen tuloa.

Kesäajan huonelämpötilan täyttymisen laskennassa tulee käyttää D3:n (2012) Kesäajan lämpötilojen laskentaoppaan mukaan vakioituja säätietoja ja sisäisiä lämpökuormia. Lämpötilalaskelmat tulee tehdä tilatyypeille ja huoneille, joissa ilmenee suurin riski liialliselle lämpenemiselle. Tämän tyyppisiä tiloja ovat etelä- ja länsisivujen huo-

neet, pienet asunnot sekä suuria lasipintoja omaavat tilat. Yleensä ensisijaisesti tilojen liiallista lämpenemistä estetään käyttäen rakenteellisia ja muita passiivisia keinoja sekä tehostettua ilmanvaihtoa öisin. Jotta kesäajan huonelämpötilan vaatimukset täyttyisivät, voi olla tarpeellista käyttää jäähdytysjärjestelmää. Silloin jäähdytysjärjestelmän energiankulutus sisältyy rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen.

Käyttötarkoituksiluokkien 1 ja 9 rakennuksille, eli erillisille pientaloille sekä rivi- ja ketjutaloille, ei tarvitse suorittaa kesäajan huonelämpötilojen laskentaa. Käyttötarkoitukseluokat on esitelty seuraavassa taulukossa 2.9. Tässä diplomityössä ei erityisesti tutkita kesäajan huonelämpötilan vaatimuksia, koska tutkittava rakennus on pientalo. Jäähdytykseen kuluva energiaa tutkitaan eri jäähdytysrajojen arvoilla. Raja-arvojen ylittäviä astetunteja tutkitaan vähemmän.

**Taulukko 2.9. Rakennusten käyttötarkoitukseluokat (RakMK D3 2012).**

Luokka 1:	Erilliset pientalot sekä rivi- ja ketjutalot
Luokka 2:	Asuinkerrostalot
Luokka 3:	Toimistorakennukset
Luokka 4:	Liikerakennukset
Luokka 5:	Majoitusliikerakennukset
Luokka 6:	Opetusrakennukset ja päiväkodit
Luokka 7:	Liikuntahallit pois lukien uima- ja jäähallit
Luokka 8:	Sairaalat
Luokka 9:	Muut rakennukset

Asuinkerrostaloissa huonelämpötilan tavoitetaso täyttyminen osoitetaan lämpötilalaskelmien avulla vähintään yhdelle lämpökuormiltaan suurimmalle makuuhuoneelle ja olohuoneelle. Muunlaisissa rakennuksissa lämpötilalaskut suoritetaan kyseessä olevan rakennuksen käyttötarkoitukseluokan mukaisissa tyyppitiloissa. Esimerkiksi toimistorakennuksessa valitaan toimistohuone, avotoimistotila tai neuvotteluhuone. Käyttötarkoitukseluokan mukaiset lämmitys- ja jäähdytysrajat sekä ulkoilmavirrat on esitetty taulukossa 2.10.

**Taulukko 2.10. Energialaskennassa käytettävät huonelämpötilojen asetusarvot sekä ilmanvaihtomäärät lämmitettyä nettoalaa kohden (RakMK D3 2012).**

Käyttötarkoitukseluokka	Ulkoilmavirta $\text{dm}^3/(\text{s m}^2)$	Lämmitysraja $^{\circ}\text{C}$	Jäähdytysraja $^{\circ}\text{C}$
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	0,4	21	27
Asuinkerrostalo	0,5	21	27
Toimistorakennus	2	21	25
Liikerakennus	2	18	25
Majoitusliikerakennus	2	21	25
Opetusrakennus ja päiväkotit	3	21	25
Liikuntahalli	2	18	25
Sairaala	4	22	25



Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D3 aikaisemmassa vuoden 2010 versiossa ei ollut käyttötarkoitukseluokkien mukaisia lämpötilojen rajoituksia. Siinä todettiin, että kuukauden keskimääräinen sisäilman lämpötila ei saisi olla yleensä enempää kuin 25 °C. Kovin tarkkoja määrittelyjä ei siis D3:n vuoden 2010 versiossa sisäilman maksimilämpötiloille ollut. Samana vuonna ilmestyneessä RakMK:n osassa D2 oli toki tarkempia vaatimuksia.

RakMK:n osan D2 vuoden 2012 version mukaan oleskeluvyöhykkeelle huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvona käytetään useimmiten 21 °C. Kesäkauden suunnitteluarvona oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilalle käytetään yleensä arvoa 23 °C. Perustelluista syistä voidaan huonelämpötila suunnitella näistä ohjearvoista poikkeavasti.

Lämmityskauden suunnitteluarvosta hyväksyttävä poikkeama oleskeluvyöhykkeellä on huonetilan keskellä 1,1 metrin korkeudella  $\pm 1$  °C. Rakennuksen käyttöaikana D2:n (2012) mukaan ei oleskeluvyöhykkeellä lämpötila saa olla suurempi kuin 25 °C. Ulkoilman lämpötilan viiden tunnin enimmäisjakson keskiarvon ollessa suurempi kuin 20 °C, saa huoneilman lämpötila ylittää tämän ulkoilman lämpötilan arvon maksimissaan 5 °C. Tämä sama vaatimus oli myös RakMK:n osan D2 aiemmassa vuonna 2010 ilmestyneessä versiossa. D2:n vaatimukset ovat hieman ristiriidassa D3:n energialaskennassa käytettävän jäähdytysrajan asetusarvon 27 °C kanssa. RakMK:n osan D2 (2012) vaatimukset toimivat enemminkin suunnitteluohjeina. Osan D3 (2012) ohjeet toimivat luvansaannin edellytyksinä ja niitä käytetään E-lukua laskettaessa.

RakMK:n osan D2 (2012) mukaan lämpöolojen ylläpidon suunnittelussa kesäkauden mitoittavina säätietoina voidaan käyttää esimerkiksi RakMK:n osan D3 mukaisia testivuotia. Kesäajan mitoittavana ulkoilman lämpötilana voidaan käyttää myös arvoa 25 °C. Rakennus on lisäksi suunniteltava niin, että ilman liike, lämpösäteily ja pintalämpötilat eivät aiheuta epäviihtyisyyttä oleskeluvyöhykkeellä käytön aikana.

### **2.7.2 Sisäilman lämpötilarajat Sisäilmastoluokituksessa**

Vuonna 1995 julkaistiin Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokitus. Kyseisen julkaisun laativat tekniikan tohtori Risto Ruotsalainen ja professori Olli Seppänen. Sen päivitetty versio, nimeltään Sisäilmastoluokitus 2000, julkaistiin vuonna 2001. Tämän asiakirjan laati Sisäilmayhdistys ry tekijöinään diplomi-insinöörit Jorma Säteri ja Harri Hahkala. Vuonna 2008 laadittiin Sisäilmastoluokitus 2008, joka korvasi Sisäilmastoluokitus 2000:n. Sisäilmastoluokitus 2008:n laati Sisäilmayhdistys ry diplomi-insinööri Jorma Säterin johdolla.

Vuonna 1995 ilmestynyt Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokitus tarkoitettiin käytettäväksi rakennus- ja taloteknisessä suunnittelussa sekä laite- ja materiaalivalmistuksen apuna. Luokitus ei ollut viranomais säädös, eikä se määritellyt rakennushankkeen yleisiä velvollisuuksia ja vastuita. Julkaisu koostui kolmesta luvusta. Ensimmäinen luku sisälsi Sisäilmastoluokitus 1995:n, toinen luku Rakennustöiden puhtausluokitus 95:n ja kolmas luku Rakennusmateriaalien päästöluokitus 95:n. Luokitukset oli tarkoitettu suunnittelun apuvälineeksi. Luokitus tehtiin rakennusprojektin alku-

vaiheessa. Rakennuttaja valitsi suunnittelijan kanssa sisäilmaston tavoitearvot. Tavoitearvot voitiin valita kaikki samasta luokasta tai eri luokista. Sisäilmastoluokat olivat S1, S2 ja S3. Rakennustöiden puhtausluokat olivat P1 ja P2. Pintamateriaalien päästöluokat olivat vuoden 1995 versiossa M1, M2 ja M3.

Sisäilmastoluokitus 1995 koski tavanomaisia asuin- ja työtiloja. Sisäilmastoluokituksen luokka S1 edellytti käytännössä koneellista jäähdytystä ja huonekohtaista lämpötilojen säätöä. Kyseinen luokka oli paras ja se vastasi noin 90 %:n tyytyväisten osuutta. Sisäilmastoluokkaan S2 voitiin päästä hyvällä rakennussuunnittelulla ilman koneellista jäähdytystä. Luokassa S3 lämpötilojen oli mahdollista kesällä nousta hyvin korkeiksi. Seuraavassa taulukossa on esitetty sisäilmaston tavoitearvot tämän luokituksen mukaisesti. Niitä käytettiin rakennushankkeen alkupuolella suunnittelussa tai sisäilmaston tarkastamisessa.

**Taulukko 2.11. Sisäilmaston tavoitearvot Sisäilmastoluokitus 1995:ssa (Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokitus 1995).**

Suure	Yksikkö	Luokka			Huom.
		S1	S2	S3	
Huonelämpötila, talvi	°C	21-22	21-23	20-24	1)
Huonelämpötila, kesä	°C	22-25	22-27	22-27(35)*	1)
Lattian lämpötila	°C	19-29	19-29	17-31	4)
Lämpötilaero pystysuunnassa	°C	<2	<3	<4	5)
Ilman nopeus, talvi	21°C m/s	<0,10	<0,15	<0,15	6)
Ilman nopeus, kesä	24°C m/s	<0,15	<0,20	<0,25	6)
	27°C	<0,20	<0,25	<0,30	
Ilman suhteellinen kosteus, talvi	%	25-45	-	-	7)
Ilman suhteellinen kosteus, kesä	%	30-60	-	-	7)
Lämmitys- ja ilmastointilaitteiden äänitaso	dB(A)				8)
toimistohuoneet		<30	<35	<35	
asuinhuoneet (ei keittiö)		<25	<25	<28	
Ilmanvaihtuvuus (asunto)	1/h	>0,8	>0,6	>0,4	9)
Ammoniakkipitoisuus (NH <sub>3</sub> )	mg/m <sup>3</sup>	<0,02	<0,03	<0,05	10)
Formaldehydipitoisuus (H <sub>2</sub> CO)	mg/m <sup>3</sup>	<0,03	<0,05	<0,15	11)
Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) kokonaispitoisuus	mg/m <sup>3</sup>	<0,2	<0,3	<0,6	12)
Hajuvoimakkuus	desipol	<2	<4	<5,5	13)
Hiilidioksidipitoisuus (CO <sub>2</sub> )	ppm	<1000	<1250	<1500	14)
	mg/m <sup>3</sup>	<1800	<2250	<2700	
Hiilimonoksidipitoisuus (CO)	mg/m <sup>3</sup>	<2	<5	<8	15)
Otsonipitoisuus (O <sub>3</sub> )	mg/m <sup>3</sup>	<0,05	<0,07	<0,10	16)
Pölypitoisuus	mg/m <sup>3</sup>	<0,06	<0,06	<0,06	17)
Radonpitoisuus (Rn)	Bq/m <sup>3</sup>	<200	<200	<200	18)

\* huonelämpötila ei saa olla missään ulkoilmaolosuhteissa yli +35 °C; kun ulkolämpötila on alle +15 °C, huonelämpötila ei saa olla yli +27 °C

'-' tarkoittaa, että ei ole asetettu vaatimuksia

Sisäilmastoluokitus 1995:n luokassa S1 sisäilman lämpötila tuli kesällä olla välillä 22 - 25 °C. Luokassa S2 vastaavat rajat olivat 22 - 27 °C ja luokassa S3 22 - 27 °C. Seuraavassa taulukossa on esitetty sisäilmaston suunnitteluarvot. Niitä oli tarkoitus käyttää erityisesti lämmitys- ja ilmastointilaitteiden mitoituksessa.

*Taulukko 2.12. Sisäilmaston suunnittelussa käytettävät arvot Sisäilmastoluokitus 1995:ssä (Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokitus 1995).*

Suure	Yksikkö	Luokka			Huom.	
		S1	S2	S3		
T1 Huonelämpötila, talvi	°C	21	21	20	1)	
T2 Huonelämpötila, kesä	°C	24	26	27 (35) *	1)	
T3 Lämpötilan huonekohtainen säädettävyys, talvi	°C	±2	±2	-	2)	
T4 Lämpötilan huonekohtainen säädettävyys, kesä	°C	±2	-	-	2)	
T5 Vyöhykkeen lämpötilaero, talvi	°C	**	<2	-	3)	
T6 Vyöhykkeen lämpötilaero, kesä	°C	**	<5	-	3)	
T7 Ilman nopeus, talvi	m/s	<0,10	<0,15	<0,15	6)	
T8 Ilman nopeus, kesä	m/s	<0,15	<0,25	<0,30	6)	
H1 Ilman suhteellinen kosteus, talvi	%	25	-	-	7)	
H2 Ilman suhteellinen kosteus, kesä	%	60	-	-	7)	
N Lämmitys- ja ilmastointilaitteiden äänitaso	dB(A)				8)	
toimistohuoneet		<30	<35	<35		
asuinhuoneet		<25	<25	<28		
keittiö		<30	<30	<35		
Q Ulkoilmavirta ilman laadun ylläpitämiseksi		I/s,hlö	I/sm <sup>2</sup>	I/s,hlö	I/sm <sup>2</sup>	9)
toimistohuoneet		16	2	12	1,5	1
neuvotteluhuoneet		12	8	9	6	4
luokkahuoneet		12	6	9	4,5	3
luentosalit		12	12	9	9	6
lastenhoitotilat		10	4	7,5	3	2
asuinhuoneet		8	1	6	0,7	0,5

\* ei koneellista jäähdytystä; lämpötilaa voidaan alentaa ikkunatuuletuksen avulla; on varmistettava, että huonelämpötila ei ole missään ulkoilmaolosuhteissa yli +35 °C; kun ulkolämpötila on alle +15 °C, huonelämpötila ei saa olla yli +27 °C

\*\* ei koske luokkaa S1, koska lämpötilaa säädetään huonekohtaisesti

-1- tarkoittaa, että ei ole asetettu vaatimuksia

Huonelämpötilojen kesäajan suunnitteluarvo oli vuoden 1995 versiossa luokassa S1 24 °C. Luokassa S2 suunnitteluarvo oli 26 °C ja luokassa S3 27 °C.

Vuonna 1995 julkaistu Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokitus korvattiin Sisäilmastoluokitus 2000:lla. Tämä luokitus tarkoitettiin käytettäväksi rakennus- ja taloteknisessä suunnittelussa ja urakoinnissa sekä rakennustarviketeolli-

suudessa. Luokitusta voitiin käyttää uudisrakentamisessa ja soveltuvilta osilta korjausrakentamisessa. Luokituksessa oli annettu sisäilmaston tavoite- ja suunnitteluarvot, mutta luokitus ei kuitenkaan kumonnut viranomaissäädöksiä ja niistä julkaistuja tulkintoja. Sisäilmastoluokitus 2000 koostui kolmesta luvusta. Ensimmäinen luku sisälsi sisäilmaston tavoitearvot, toinen luku suunnittelu- ja toteutusohjeet ja kolmas luku rakennustuotteiden vaatimukset.

Sisäilmastoluokitus 2000:ta käytettiin tavanomaisille asuin- ja työtiloille, kun niille asetettiin sisäilmastotavoitteita. Sisäilmastoluokituksen tavoitteet, ohjeet ja vaatimukset oli tarkoitus ottaa huomioon rakennushankkeen jokaisessa vaiheessa. Rakennuttaja valitsi suunnittelijan kanssa sisäilmaston tavoitearvot. Tavoitearvot voitiin valita kaikki samasta sisäilmastoluokasta tai eri luokista, jos niin haluttiin. Sisäilmastoluokkia oli kolme kappaletta. Laatuluokat olivat nimeltään S1, S2 ja S3. Luokka S1 tarkoitti yksilöllistä sisäilmastoa. Tilan sisäilman laatu oli erittäin hyvä ja sisätilan lämpöolot olivat viihtyisät vuoden ympäri. Sisäilmastoluokka S1 oli vaikea saavuttaa ilman koneellista jäähdytystä ja huonekohtaista lämpötilan säätöä. Luokka S2 tarkoitti hyvää sisäilmastoa. Sisäilman laatu oli hyvä ja lämpöolot olivat vedottomat. Kesän kuumimpina päivinä sisäilman lämpötila nousi kuitenkin viihtyisän tason yläpuolelle. Sisäilmastoluokkaan S2 voitiin päästä ilman koneellista jäähdytystä taitavan rakennussuunnittelun avulla. Luokka S3 tarkoitti tyydyttävää sisäilmastoa. Sisäilman laatu ja lämpötilat täyttivät tällöin säännösten vähimmäisvaatimukset. Sisäilman ylikämmenemistä tapahtui yleisesti kesällä. Ilma saattoi tuntua ajoittain tunkkaiselta ja vedon tunnetta saattoi myös esiintyä.

Sisäilmastolle oli ilmoitettu tavoitearvot lämpötiloille, ilman nopeuksille, ilman suhteelliselle kosteudelle, eri huoneilman pitoisuuksille ja hajuille sekä ääniolosuhteille. Seuraavassa taulukossa on esitetty lämpöolojen tavoitearvot eri sisäilmastoluokille tämän luokituksen mukaisesti.

Taulukko 2.13. Lämpöolojen tavoitearvot Sisäilmastoluokitus 2000:ssa (Sisäilmastoluokitus 2000).

		Yksikkö	Sisäilmastoluokka Enimmäisarvot			Huom.
			S1	S2	S3	
Huonelämpötila*	Talvi	°C	(21–22)*	20–22	20–23	(I)
	Kesä		(23–24)*	23–26	22–27 (35)	***
Huonelämpötilan tilapäinen poikkeama asetusarvosta **		°C	± 0,5	± 1	± 2	(I)
Lämpötilaero pystysuunnassa		°C	2	3	4	(II)
Lattian pintalämpötila		°C	19–29	19–29	17–31	(III)
Ilman nopeus	Talvi (20 °C)	m/s	0,13	0,16	0,19	(IV)
	Talvi (21 °C)	m/s	0,14	0,17	0,20	
Ilman nopeus	Kesä (24 °C)	m/s	0,20	0,25	0,30	(IV)
Ilman suhteellinen kosteus	Talvi	%	25–45	–	–	(V)

\* S1-luokassa huonelämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti asetettavissa välillä 20–24 °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään huonelämpötilan perustasona talvella 21–22 °C ja kesällä 23–24 °C.

\*\* Lämpötilan asetusarvon tulee olla kohdassa "huonelämpötila" mainituissa rajoissa.

\*\*\* Huonelämpötila ei saa missään ulkoilmaolosuhteissa olla yli 35 °C. Kun ulkoilman lämpötila on alle 15 °C, huonelämpötila ei saa olla yli 27 °C.

Huonelämpötilalla tarkoitetaan ilman lämpötilaa oleskeluvyöhykkeellä. Tavoitearvot kuvaavat, missä määrin asetettu lämpötila pystytään pitämään yllä eli tilannetta, jossa huonekohdasta lämpötilan säätömahdollisuutta ei ole vielä käytetty. S1-luokassa lämpöolot saavat mitoitusvälillä tilapäisesti poiketa tavoitearvoista enintään 3 vuorokautena kesällä ja enintään 3 vuorokautena talvella. S2 luokassa lämpöolot voivat mitoitusvälillä tilapäisesti poiketa tavoitealueelta enintään 7 vuorokautena talvella ja enintään 7 vuorokautena kesällä. Huonelämpötila mitataan esimerkiksi nestepatsaslämpömittarilla tai sähköisellä anturilla 1,1 m korkeudelta standardin SFS 5511 (SFS-käsikirja 103) mukaisesti. Jos pintojen lämpötila poikkeaa selvästi ilman lämpötilasta (esim. huonosti eristetty vaippa, 2-lasiset ikkunat, suuret ikkunat, useita ulkoseiniä, lattian alla lämmittämätön tila, auringonsäteily, lattialämmitys, kattolämmitys, jäähdytyskatto), käytetään huonelämpötilana operatiivista lämpötilaa. Operatiivinen lämpötila voidaan laskea ilman ja pintojen lämpötiloista tai mitata esimerkiksi pallolämpömittarilla standardin SFS 5511 (SFS-käsikirja 103) mukaisesti.

II Lämpötilaerolla pystysuunnassa tarkoitetaan lämpötilaeroa nilkkojen ja niskan välillä, mitauskorkeudet 0,1 m ja 1,1 m (istumatyö).

III Lattian pintalämpötila ei saa missään oleskeluvyöhykkeen kohdassa olla esitetyn alueen ulkopuolella. Kylpy- ja pesuhuoneissa suositeltava lattian pintalämpötila on korkeintaan 27 °C. Pintalämpötila mitataan esimerkiksi infrapunalämpömittarilla tai kosketusanturilla standardin SFS 5511 (SFS-käsikirja 103) mukaisesti.

IV Ilman nopeudella tarkoitetaan kolmen minuutin keskiarvoa oleskeluvyöhykkeellä. Se mitataan suuntariippumattomalla kuumalanka-anemometrillä standardin SFS 5511 (SFS-käsikirja 103) mukaisesti. Tulosten käsittelyssä mittaustulos ja asetettu tavoitearvo esitetään kahden desimaalin tarkkuudella siten, että viimeinen merkitsevä numero on joko 0 tai 5.

V Ilman suhteellinen kosteus voi lyhytaikaisesti pakkashuippujen aikana laskea alle tavoitearvon. Ilman suhteellisen kosteuden tulee olla alle 60 %. Ilmaa kostutettaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, etteivät kostutuslaitteet lisää ilman epäpuhtauksia. Ilman suhteellinen kosteus mitataan esimerkiksi psykrometrillä tai kapasitiivisella anturilla standardin SFS 5511 (SFS-käsikirja 103) mukaisesti.

Vuoden 2000 versiossa talvella huonelämpötila sai siis olla sisäilmastoluokassa S1 välillä 21 - 22 °C, luokassa S2 välillä 20 - 22 °C ja luokassa S3 välillä 20 - 23 °C. Kesällä huonelämpötila sai olla luokassa S1 välillä 23 - 24 °C, luokassa S2 välillä 23 - 26 °C ja luokassa S3 välillä 22 - 27 °C. Huonelämpötila sai poiketa tilapäisesti rajojen sisälle

asetetusta asetusarvostaan S1-luokassa  $\pm 0,5$  °C, S2-luokassa  $\pm 1$  °C ja S3-luokassa  $\pm 2$  °C.

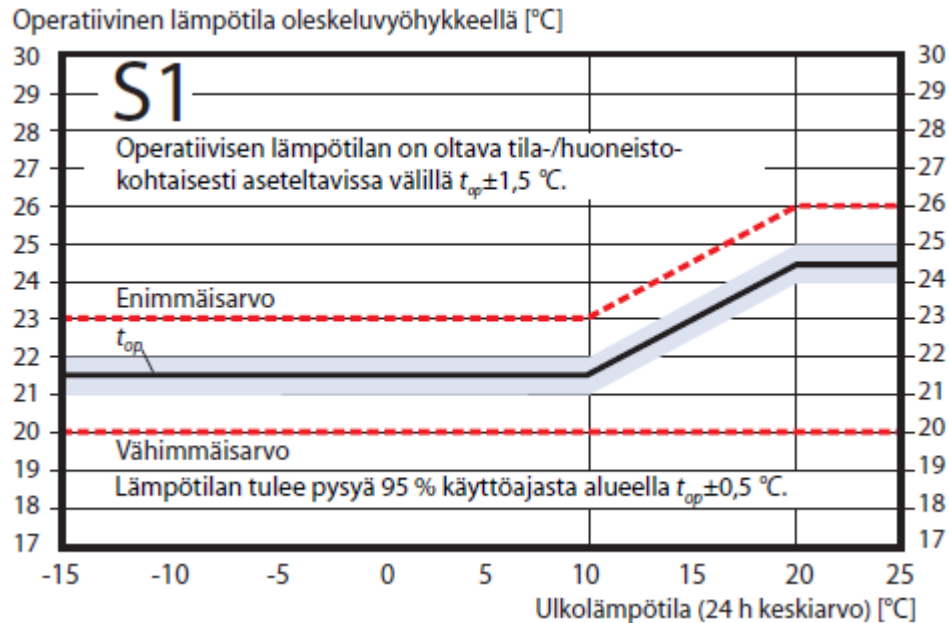
Sisäilmastoluokitus 2008:ssa on tapahtunut muutoksia vuoden 2000 version lämpötilarajoihin verrattuna. Asiakirjan rakenne ja sovellusalat ovat samat kuin aiemmassa versiossa. Sisäilmastoluokat ovat samat kuin aiemminkin: S1, S2 ja S3. Erityisesti ääniolosuhteiden vaatimuksia on tarkennettu vuoden 2008 versiossa. Seuraavassa taulukossa on esitetty sisäilman lämpötilojen tavoitearvot Sisäilmastoluokitus 2008:ssa.

**Taulukko 2.14. Lämpöolojen tavoitearvot Sisäilmastoluokitus 2008:ssa (Sisäilmastoluokitus 2008).**

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila $t_{op}$ [°C]			
$t_u \leq 10$ °C	21,5*	21,5	21
$10 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)^*$	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)$	$21 + 0,4 \times (t_u - 10)$
$t_u > 20$ °C	24,5*	24,5	25
Sallittu poikkeama tavoitearvosta [°C]	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]	$t_{op} + 1,5$	$t_u \leq 10$ °C: $t_{op} + 1,5$ $10 < t_u \leq 20$ °C: $23 + 0,4 \times (t_u - 10)$ $t_u > 20$ °C: 27	$t_u \leq 15$ °C: 25 $t_u > 15$ °C: $t_{umax} + 5$
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	20	20	18
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjästä]			
• toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	–
• asunnot	90 %	80 %	–

\* S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti aseteltavissa välillä  $t_{op} \pm 1,5$  °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään lämpötilan tavoitetasona taulukossa esitettyjä tavoitearvoja.

Erot eri sisäilmastoluokkien lämpötilarajojen välillä eivät ole tässä vuoden 2008 Sisäilmastoluokituksessa niin suuret kuin vuoden 2000 versiossa. Taulukon sisäilman operatiivisen lämpötilan vaatimukset määräytyvät ulkolämpötilan mukaan. Ulkolämpötilalla  $t_u$  tarkoitetaan ulkoilman 24 tunnin liukuvaa keskiarvoa lähimmällä säähavaintopaikalla. Tilan käyttäjän toivomuksista sisäilman lämpötilan voidaan antaa laskea alle tavoitetason tai kesäaikaan nousta tavoitetason yli. Sisälämpötilan pitää olla tavoitearvon sallitun poikkeaman alueella olosuhteiden pysyvyyden edellyttämän ajan osuuden suhteessa rakennuksen suunniteltuun käyttöaikaan. Asunnoissa siis lämpötilan tavoitearvo tulee sisäilmastoluokassa S1 täyttyä 90 % käyttäjästä. Seuraavassa Sisäilmastoluokitus 2008:sta otetussa kuvassa on esitetty sallitut lämpötilat sisäilmastoluokalle S1.



Kuva 2.3. Sisäilman operatiivisen lämpötilan tavoitearvot sisäilmastoluokalle S1 Sisäilmastoluokitus 2008:ssa, tummennettu alue tarkoittaa luokan tavoitealuetta (Sisäilmastoluokitus 2008).

Kuvassa todetaan, että lämpötilan tulee pysyä 95 % käyttöajasta alueella  $t_{op} \pm 0,5 \text{ °C}$ . Tämä koskee toimi- ja opetustiloja. Asunnoille riittää 90 % käyttöajasta. Vuoden 2008 version tavoitearvojen toteutuminen pitää todentaa tarpeeksi kattavilla ja luotettavilla mittauksilla. Lyhytkestoilla mittauksilla voidaan tarkastaa sisälämpötilojen toteutumista rakennuksen käytön aikana, kun ulkolämpötila on alle  $0 \text{ °C}$ , ja kesällä ulkolämpötilan ollessa yli  $+15 \text{ °C}$  ja sään ollessa selkeä. Muissa olosuhteissa sisälämpötilojen toteutuminen tulee tarkastaa laskennallisesti niin, että lämmitys ja jäähdytys otetaan huomioon.

Seuraavaan taulukkoon on vertailun vuoksi koottu sisäilman tavoitearvot vuosien 1995, 2000 ja 2008 Sisäilmastoluokituksissa. Sisäilmastoluokituksissa 1995 ja 2000 lämpötilojen tavoitearvot on annettu kesälle ja talvelle. Sisäilmastoluokitus 2008:ssa sisäilman lämpötilojen tavoitearvot määräytyvät ulkoilman lämpötilan mukaan riippumatta vuodenaikasta.

**Taulukko 2.15. Lämpöolojen tavoitearvot Sisäilmastoluokitus 1995:ssä, 2000:ssa ja 2008:ssa. Taulukossa  $T_u$ = ulkolämpötila ja  $T_{op}$ = tilan operatiivinen lämpötila. (Sisäilmastoluokitus 1995, Sisäilmastoluokitus 2000, Sisäilmastoluokitus 2008).**

		S1	S2	S3
<b>Sisäilmasto- luokitus 1995</b>	Talvi	21-22	21-23	20-24
	Kesä	22-25	22-27	22-27 (35)
		S1	S2	S3
<b>Sisäilmasto- luokitus 2000</b>	Talvi	21-22	20-22	20-23
	Kesä	23-24	23-26	22-27 (35)
	Sallittu tilapäinen poikkeama	± 0,5	± 1	± 2
		S1	S2	S3
<b>Sisäilmasto- luokitus 2008</b>	$T_u \leq 10\text{ °C}$	21-22	20,5-22,5	20-22
	$10\text{ °C} < T_u \leq 20\text{ °C}$	$[21,5 + 0,3 * (T_u - 10)] \pm 0,5$	$[21,5 + 0,3 * (T_u - 10)] \pm 1$	$[21 + 0,4 * (T_u - 10)] \pm 1$
	$T_u > 20\text{ °C}$	24-25	23,5-25,5	24-26
	Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo	20	20	18
	Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo	$T_{op} + 1,5$	$T_u \leq 10\text{ °C} : T_{op} + 1,5$ $10\text{ °C} < T_u \leq 20\text{ °C} : 23 + 0,4 * (T_u - 10)$ $T_u > 20\text{ °C} : 27$	$T_u \leq 15\text{ °C} : 25$ $T_u > 15\text{ °C} : T_{umax} + 5$

Sisäilmastoluokassa S1 vuoden 2000 luokituksessa vaatimukset tiukentuivat vuoden 1995 luokitukseen nähden. Vuoden 2008 luokituksessa sisäilmastoluokan S1 sallittavia lämpötiloja korotettiin hieman. Muissakin sisäilmastoluokissa on tapahtunut muutoksia eri vuosien Sisäilmastoluokitusten välillä. Kesälämpötiloilla sisäilmastoluokissa S2 ja S3 sisälämpötilojen tavoitearvojen ylärajat ovat vuoden 2008 luokituksessa pienimmät. Jäähdytysrajaa on näissä luokissa alennettu aiempien vuosien Sisäilmastoluokituksiin nähden.

## 2.8 Lämmönläpäisykerroin

Lämmönläpäisykertoimesta käytetään myös nimitystä U-arvo. Sen yksikkö on  $W/(m^2K)$ . Lämmönläpäisykertoimella tarkoitetaan jatkuvuustilassa rakennusosan läpäisevää lämpövirran tiheyttä, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla on yksikön suuruinen. RakMK:n osassa C4 on esitetty lämmönläpäisykertoimen määrittämis- ja laskentaohjeet. Tällä hetkellä uusien versio C4:stä on vuoden 2012 luonnos. Tässä kappaleessa esitetyt laskentatavat ovat tuon julkaisun mukaiset. RakMK:n osan C4 (2012) luonnoksessa on esitetty menetelmä, jolla voidaan laskea rakennusosien ja rakenteiden korjattu lämmönläpäisykerroin  $U_c$ . Muitakin menetelmiä U-arvon laskemiseksi voidaan käyttää. Myös kokeellinen U-arvon määrittäminen on sallittua, jos laskennallinen määrittäminen on haasteellista. Korjatulla lämmönläpäisykertoimella  $U_c$  tarkoitetaan rakennusosan lopullista lämmönläpäisykerrointa. Sitä käytetään, kun tutkitaan rakennuksen määräystenmukaisuutta tai rakennuksen energiankulutusta.



### 2.8.1 Lämmönläpäisykerroimen laskeminen

Rakennusosan lämmönläpäisykerroin  $U$  on rakennusosan kokonaislämmönvastuksen käänteisluku. Se lasketaan siis kaavalla:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (53)$$

missä

$U$	rakennusosan lämmönläpäisykerroin, $W/(m^2K)$
$R_T$	rakennusosan kokonaislämmönvastus, $m^2K/W$

Kokonaislämmönvastukseen sisältyy rakennusosan lämmönvastus ja rakennusosan pintavastukset molemmilla puolilla. Rakenteessa on usein erilaisia ja eripaksuisia ainekerroksia. Yhden ainekerroksen lämmönvastus  $R$  lasketaan kaavalla:

$$R = \frac{d}{\lambda_U} \quad (54)$$

missä

$R$	ainekerroksen lämmönvastus, $m^2K/W$
$d$	ainekerroksen paksuus, $m$
$\lambda_U$	ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo, $W/(m K)$

Ainekerroksen paksuus saattaa vaihdella rakenteessa. Tällaisissa tapauksissa voidaan käyttää paksuuden keskiarvoa; kuitenkin ehdolla, että ainekerroksen paksuus ei alita missään kohtaa keskiarvopaksuutta enempää kuin 20 %. Rakennusosan erilaiset ainekerrokset voivat olla lämpövirran suhteen rinnakkain tai peräkkäin. Lämpövirran suuntaan peräkkäisistä ainekerroksista koostuvan rakennusosan kokonaislämmönvastus saadaan kaavalla:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (55)$$

missä

$R_T$	rakennusosan kokonaislämmönvastus, $m^2K/W$
$R_{si}$	rakennusosan sisäpinnan pintavastus, $m^2K/W$
$R_{1,2,\dots,n}$	alaindeksin mukaisen yhden ainekerroksen 1, 2,.. tai $n$ lämmönvastus, $m^2K/W$
$R_{se}$	rakennusosan ulkopinnan pintavastus, $m^2K/W$

Sisä- ja ulkoilmaan rajoittuvien rakennusosien sisä- ja ulkopinnan pintavastukset saadaan RakMK:n osasta C4 (luonnos 2012) otetusta taulukosta 2.16. Taulukossa on esitetty pintavastuksen arvot lämpövirran suunnille ylöspäin, vaakasuoraan ja alaspäin.

Taulukko 2.16. Rakennusosan sisäpuolen ja ulkopuolen pintavastukset (RakMK C4 2012).

Pintavastus m <sup>2</sup> K/W	Lämpövirran suunta		
	Ylöspäin	Vaakasuoraan	Alaspäin
sisäpuolen pintavastus (R <sub>si</sub> )	0,10	0,13	0,17
ulkopuolen pintavastus (R <sub>se</sub> )	0,04	0,04	0,04

Jos tutkittavasta rakennuksesta löytyy pintoja, jotka eivät ole vaakasuoria tai pystysuoria, niin niiden pintavastukset saadaan lineaarisesti interpoloimalla. Interpoloinnissa käytetään taulukon 2.16 arvoja.

Jos rakennusosa koostuu erilaisista rinnakkaisista ainekerroksista, niin rakennusosan kokonaislämmönvastukselle lasketaan alalikiarvo ja ylälikiarvo. Rakennusosan kokonaislämmönvastus lasketaan tällöin niiden keskiarvona:

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad (56)$$

missä

$R_T$  rakennusosan kokonaislämmönvastus, m<sup>2</sup>K/W

$R'_T$  rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvo, m<sup>2</sup>K/W

$R''_T$  rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo, m<sup>2</sup>K/W

Jos ylä- ja alalikiarvojen suhde on yli 1,5 niin tätä laskentamenetelmää ei voida käyttää. Myöskään säännöllisistä metallirakenteista johtuvia viivamaisia kylmäsiltoja omaavan rakenteen kokonaislämmönvastuksen laskemiseen menetelmä ei sovellu. Tällaisessa tapauksessa normaalilla tavalla ilman kylmäsiltoja laskettuun lämmönläpäisykertoimeen lisätään viivamaisten kylmäsiltojen aiheuttama lisäys  $\Delta U_\Psi$ . Se lasketaan kaavalla:

$$\Delta U_\Psi = \sum \Psi_k \cdot \frac{l_k}{A} \quad (57)$$

missä

$\Delta U_\Psi$  viivamaisten säännöllisten kylmäsiltojen aiheuttama lämmönläpäisykerroimen lisäys, W/(m<sup>2</sup>K)

$\Psi_k$  rakennusosassa olevien samanlaisten kylmäsiltojen viivamainen lisäkonduktanssi, W/(m<sup>2</sup>K)

$l_k$  rakennusosassa olevien samanlaisten kylmäsiltojen yhteispituus, m

$A$  rakennusosan pinta-ala

Kaavassa 56 esiintyvä rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvo  $R'_T$  lasketaan niin, että jaetaan rakennusosa lämpövirran suuntaisiin itsenäisiin lohkoihin, jotka

ovat rakennusosan läpi ulottuvia. Nämä lohkot ovat lämmönjohtavuudeltaan erilaisia. Jokaisen lohkon kokonaislämmönvastus lasketaan erikseen kaavan 55 mukaisesti. Näiden tietojen avulla saadaan rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvo  $R'_T$  ratkaistua kaavasta:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{Tn}} \quad (58)$$

missä

$R'_T$	rakennusosan kokonaislämmönvastuksen ylälikiarvo, $m^2K/W$
$f_{a,b,\dots,n}$	alaindeksin mukaisen lohkon a, b, ... tai n osuus rakennusosan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta
$R_{Ta,Tb,\dots,Tn}$	alaindeksin mukaisen lohkon a, b, ... tai n kokonaislämmönvastus $m^2K/W$

Kun määritetään rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alaliikiarvoa  $R''_T$ , niin rakennusosa jaetaan lämpövirtaan nähden kohtisuoriin rakennusosan läpi ulottuviin kerroksiin. Jokainen kerros on yhtenäinen lämpövirran suunnassa. Kunkin kerroksen lämmönjohtavuudeltaan erilaisten rinnakkaisten lohkojen lämmönvastukset yhdistetään kerroksittain seuraavan kaavan avulla:

$$\frac{1}{R''_j} = \frac{f_a}{R_{ja}} + \frac{f_b}{R_{jb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{jn}} \quad (59)$$

missä

$R''_j$	rakennusosan kerroksessa j yhdistettävien lohkojen a, b, ... ja n yhteenlaskettu lämmönvastus, $m^2K/W$
$f_{a,b,\dots,n}$	alaindeksin mukaisten yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen a, b, ... ja n osuudet rakennusosan lämpövirran suuntaan nähden kohtisuorasta pinta-alasta
$R_{ja,jb,\dots,jn}$	alaindeksin mukaisten rakennusosan kerroksessa j yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen a, b, ... ja n lämmönvastukset, $m^2K/W$

Kerroksessa j olevien erilaisen lämmönjohtavuuden omaavien rinnakkaisten lohkojen kokonaislämmönvastukset lasketaan erikseen kaavan 54 mukaisesti. Paksuutena kaavassa käytetään jokaisella yhdistettävällä loholla tarkasteltavan kerroksen paksuutta. Kerroksen paksuudella tarkoitetaan matkaa, jonka yhdistettävät lohkot kulkevat rinnakkain. Kun on yhdistetty lämmönjohtavuudeltaan erilaiset lämmönvastukset, niin saadaan laskettua rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alaliikiarvo,  $R''_T$ . Se saadaan kaavalla:

$$R''_T = R_{si} + (R''_1 + R''_2 + \dots + R''_j) + (R_1 + R_2 + \dots + R_k) \quad (60)$$

missä

$R''_T$	rakennusosan kokonaislämmönvastuksen alalikiarvo, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$
$R_{si}$	rakennusosan sisäpinnan pintavastus, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$
$R''_{1,2,\dots,n}$	rakennusosan kerroksissa a, b, ... j olevien rinnakkaisten lohkojen yhdistetyt lämmönvastukset, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$
$R_{1,2,\dots,n}$	rakennusosan tasapaksuisten ja tasa-aineisten ainekerrosten 1,2,... ,k lämmönvastukset, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$
$R_{su}$	rakennusosan ulkopinnan pintavastus, $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

Korjattu lämmönläpäisykerroin  $U_c$  saadaan, kun aikaisemmin laskettuun lämmönläpäisykerroimen arvoon  $U$  lisätään lämmönläpäisykerroimen korjaustermi  $\Delta U$ . Korjattu lämmönläpäisykerroin lasketaan siis kaavalla:

$$U_c = U + \Delta U \quad (61)$$

missä

$U_c$	korjattu lämmönläpäisykerroin, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
$U$	rakennusosan lämmönläpäisykerroin, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
$\Delta U$	lämmönläpäisykerroimen korjaustermi, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

Lämmönläpäisykerroimen korjaustermi täytyy laskea erikseen. Se saadaan laskettua kaavalla:

$$\Delta U = \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r + \Delta U_\psi \quad (62)$$

missä

$\Delta U$	lämmönläpäisykerroimen korjaustermi, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
$\Delta U_f$	mekaanisista kiinnikkeistä johtuva korjaustekijä, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
$\Delta U_g$	ilmaraoista johtuva korjaustekijä, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
$\Delta U_r$	käännetyistä katoista johtuva korjaustekijä, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
$\Delta U_\psi$	viivamaisista kylmäsilloista johtuva korjaustekijä, $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$

Ohjeet eri korjaustekijöiden määrittämiselle löytyvät RakMK:n osasta C4 (luonnos 2012). Tapauksissa joissa lämmönläpäisykerroimen korjaustermi  $\Delta U$  on vähemmän kuin 3 % rakennusosan lämmönläpäisykerroimen arvosta  $U$ , ei korjaustermiä tarvitse ottaa huomioon.

## 2.8.2 Maanvastaisen alapohjarakenteen lämmönläpäisykerroimien laskeminen

Kun lasketaan maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerrointa, niin otetaan huomioon myös perusmuurin ja maan vaikutus lämmönsiirtymiseen alapohjan kautta. Jos alapohja olisi ryömintätällainen, niin ryömintätällan vaikutus tulisi myös ottaa huomioon. Suunnittelussa tulee pyrkiä siihen, että sisäpinnan lämpötila ei viihtyvyyden kannalta laske liian alhaiseksi alapohjan ja ulkoseinän liitoksen läheisyydessä. Lämmöneristys pitää toteut-

taa niin, ettei haitallista kylmäsiltaa muodostu alapohjan, ulkoseinän ja perusmuurin liitoksiin.

Maanvastaisen alapohjan tai seinärakenteen lämmönläpäisykerroin voidaan yksinkertaistetusti laskea kappaleen 2.8.1 kaavojen mukaisesti. Laskettu alapohjan tai seinän lämmönläpäisykerroin kerrotaan siinä tapauksessa luvulla 0,9. Tämä kerroin ottaa huomioon maan lämmönvastuksen. Tässä yksinkertaistetussa menetelmässä ei oteta rakennuksen geometrian vaikutusta huomioon. Esitetään tässä kuitenkin RakMK:n osan C4 (luonnos 2012) mukainen tarkempi laskentamenetelmä lämmönläpäisykerroimille.

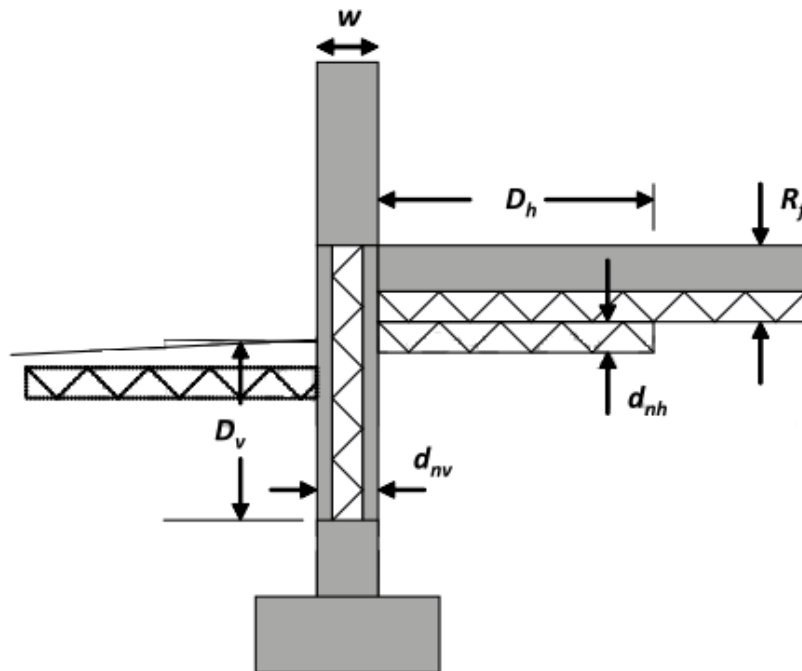
Maassa tapahtuva lämmönsiirron kolmiulotteisuus otetaan huomioon lattiarakenteen suhteellisen lattiamitan  $B'$  avulla. Se saadaan laskettua kaavalla:

$$B' = \frac{A}{0.5 \cdot P} \quad (63)$$

missä

$B'$	lattiarakenteen suhteellinen lattiamitta, m
$A$	lattiarakenteen pinta-ala, m <sup>2</sup>
$P$	lattiarakenteen piiri, m

Pinta-ala ja piiri lattiarakenteelle lasketaan sisäpintojen mukaan. Tarvittaessa suhteellinen lattiamitta voidaan laskea rakennuksen osallekin. Kuvassa 2.4 on esitetty merkintöjä, joita maanvaraisen lattiarakenteen lämmönläpäisykerroimen laskennassa käytetään. Kuvassa kaikki muut merkinnät ovat paksuuksia ja leveyksiä, mutta  $R_f$  on lattiarakenteen lämmönvastus.



Kuva 2.4. Maanvaraisen lattiarakenteen lämmönläpäisykerroimen laskennassa käytettyjä merkintöjä (RakMK C4 2012).

Maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus täytyy selvittää. Se saadaan laskettua kaavalla:

$$d_t = w + \lambda_s \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (64)$$

missä

$d_t$	maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus, m
$w$	seinän paksuus lattiarakenteen kohdalla, m
$\lambda_s$	maan lämmönjohtavuus, W/(m K)
$R_{si}$	sisäpuolen pintavastus, m <sup>2</sup> K/W
$R_f$	lattiarakenteen lämmönvastus, m <sup>2</sup> K/W
$R_{se}$	maan pinnan pintavastus ulkona, m <sup>2</sup> K/W

Lattiarakenteen lämmönvastus  $R_f$  lasketaan normaaliin tapaan kappaleen 2.8.1 kaavojen mukaisesti. Maan lämmönjohtavuutena  $\lambda_s$  voidaan käyttää maalajikohtaisia arvoja. Savelle, salaojitetulle hiekalle ja soralle  $\lambda_s$  on 1,5 W/(m K). Hiesulle, salaojittamattomalle hiekalle ja soralle sekä moreenille  $\lambda_s$  on 2,0 W/(m K). Kalliolle käytetään  $\lambda_s$ :n arvona 3,5 W/(m K). Jos tutkittavan kohteen maalajista ei ole tietoa, niin maan lämmönjohtavuutena voidaan käyttää arvoa 2,0 W/(m K). Jos lämmön siirtymisestä tehdään mittauksia kohteessa, niin mitattuja arvoja voi käyttää.

Hyvin lämpöeristetyn ja vähän lämpöeristetyn maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroimen  $U_f$  laskemiselle on omat kaavansa. Hyvin lämmöneristetty alapohja määritetään siten, että maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus  $d_t$  on vähintään yhtä suuri kuin suhteellinen lattiamitta  $B'$ . Vähän eristetyllä alapohjalla taas  $d_t$  on pienempi kuin  $B'$ . Hyvin lämpöeristetyn maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin  $U_f$  saadaan kaavalla:

$$U_f = \frac{\lambda_s}{0.457 \cdot B' + d_t} + \frac{2 \cdot \Psi_{ge}}{B'} \quad (65)$$

missä

$U_f$	maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$\lambda_s$	maan lämmönjohtavuus, W/(m K)
$B'$	lattiarakenteen suhteellinen lattiamitta, m
$d_t$	maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus, m
$\Psi_{ge}$	lattiarakenteen reuna-alueen vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen tai perusmuurin pystysuuntaisen lämmöneristysten huomioon ottava viiva- mainen lisäkonduktanssi, W/(m K)

Eristämättömän tai vähän eristetyn maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroimen laskukaava eroaa hieman hyvin eristetyn alapohjan kaavasta. Eristämättömälle ja vähän eristetyllä alapohjalla kaava on:

$$U_f = \frac{2\lambda_s}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln\left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1\right) + \frac{2 \cdot \Psi_{ge}}{B'} \quad (66)$$

missä

$U_f$	maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$\lambda_s$	maan lämmönjohtavuus, W/(m K)
$B'$	lattiarakenteen suhteellinen lattiamitta, m
$d_t$	maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus, m
$\Psi_{ge}$	lattiarakenteen reuna-alueen vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen tai perusmuurin pystysuuntaisen lämmöneristykseen huomioon ottava viivamainen lisäkonduktanssi, W/(m K)

Viivamainen lisäkonduktanssi  $\Psi_{ge}$  lasketaan lattiarakenteen reuna-alueen vaakasuuntaiselle lisälämmöneristeelle ( $\Psi_{geh}$ ) sekä perusmuurin pystysuuntaiselle lämmöneristykselle ( $\Psi_{gev}$ ). Itseisarvoltaan suurempi lisäkonduktanssin arvo sijoitetaan kaavoihin 65 ja 66 viivamaisen lisäkonduktanssin  $\Psi_{ge}$  paikalle. Lattiarakenteen reuna-alueen vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen huomioon ottava viivamainen lisäkonduktanssi saadaan laskettua kaavalla:

$$\Psi_{geh} = \frac{-\lambda_s}{\pi} \cdot \left( \ln\left(\frac{D_h}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{D_h}{d_t + d'_h} + 1\right) \right) \quad (67)$$

missä

$\Psi_{geh}$	lattiarakenteen reuna-alueen vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen huomioon ottava viivamainen lisäkonduktanssi, W/(m K)
$\lambda_s$	maan lämmönjohtavuus, W/(m K)
$D_h$	lattiarakenteen reuna-alueen vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen paksuus, m
$d_t$	maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus, m
$d'_h$	lattiarakenteen reuna-alueen vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen ekvivalentti lisäpaksuus, m

Perusmuurin pystysuuntaisen lämmöneristykseen huomioon ottava viivamainen lisäkonduktanssi on  $\Psi_{gev}$ . Se saadaan laskettua kaavalla:

$$\Psi_{gev} = \frac{-\lambda_s}{\pi} \cdot \left( \ln\left(\frac{2 \cdot D_v}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{2 \cdot D_v}{d_t + d'_h} + 1\right) \right) \quad (68)$$

missä

$\Psi_{gev}$	perusmuurin pystysuuntaisen lämmöneristykseen huomioon ottava viivamainen lisäkonduktanssi, W/(m K)
$\lambda_s$	maan lämmönjohtavuus, W/(m K)

$D_v$	lattiarakenteen reuna-alueen perusmuurin pystysuuntaisen lämmöneristeen korkeus maanpinnan alapuolella, m
$d_t$	maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus, m
$d'_v$	lattiarakenteen reuna-alueen perusmuurin pystysuuntaisen lämmöneristeen ekvivalentti lisäpaksuus, m

Lattiarakenteen reuna-alueen vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen ja perusmuurin pystysuuntaisen lämmöneristykseen huomioon otettava viivamainen lisäkonduktanssi ei sisällä ulkoseinän ja alapohjan välisestä liitoksesta aiheutuvaa kylmäsiltaa. Lattiarakenteen reuna-alueen vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen ekvivalentti lisäpaksuus  $d'_h$  saadaan kaavalla:

$$d'_h = \lambda_s \cdot \left( R_{nh} - \frac{d_{nh}}{\lambda_s} \right) \quad (69)$$

missä

$d'_h$	lattiarakenteen reuna-alueen vaakasuuntaisen lisälämmöneristeen ekvivalentti lisäpaksuus, m
$\lambda_s$	maan lämmönjohtavuus, W/(m K)
$R_{nh}$	lattiarakenteen reuna-alueen vaakasuuntaisen lämmöneristeen lämmönvastus, m <sup>2</sup> K/W
$d_{nh}$	lattiarakenteen reuna-alueen lämmöneristeen paksuus, m

Lattiarakenteen reuna-alueen vaakasuuntaisen lämmöneristeen lämmönvastus  $R_{nh}$  lasketaan kappaleen 2.8.1 mukaisesti. Lattiarakenteen reuna-alueen perusmuurin pystysuuntaisen lämmöneristeen ekvivalentti lisäpaksuus saadaan laskettua kaavalla:

$$d'_v = \lambda_s \cdot \left( R_{nv} - \frac{d_{nv}}{\lambda_s} \right) \quad (70)$$

missä

$d'_v$	lattiarakenteen reuna-alueen perusmuurin pystysuuntaisen lämmöneristeen ekvivalentti lisäpaksuus, m
$\lambda_s$	maan lämmönjohtavuus, W/(m K)
$R_{nv}$	perusmuurin lämmönvastus, m <sup>2</sup> K/W
$d_{nv}$	perusmuurin paksuus, m

Perusmuurin lämmönvastus  $d_{nv}$  lasketaan kappaleen 2.8.1 kaavojen mukaisesti. RakMK:n osasta C4 (luonnos 2012) löytyy lisäksi ohjeet ryömintätilaisen alapohjan sekä kellarikerroksisen maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykertoimien laskentaan.

Kun suoritetaan rakennuksen energiankulutuslaskelmia, niin maan lämmönvastusta ei oteta huomioon alapohjan lämmönläpäisykertoimen laskennassa. Silloin alapohjan lämmönläpäisykertoimen laskennassa huomioidaan vain lattiarakenteet eristeineen.



U-arvo lasketaan tällöin kappaleen 2.8.1 mukaisesti. Lämpöhäviöiden määräystenmukaisuuden osoittamisessa otetaan maan lämmönvastuskin huomioon.

## 2.9 Rakennuksen lämmitysenergian nettotarve

Tilojen lämmitykseen tarvittava lämmitysenergian nettotarve  $Q_{\text{lämmitys.tilat.netto}}$  saadaan, kun tilojen lämmitysenergian tarpeesta vähennetään lämmityksessä hyödynnettävät lämpökuormat. RakMK:n osan D5 (2012) mukainen kaava tilojen lämmitysenergian nettotarpeen laskemiselle on:

$$Q_{\text{lämmitys.tilat.netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}} \quad (71)$$

missä

$Q_{\text{lämmitys.tilat.netto}}$  tilojen lämmitysenergian nettotarve, kWh

$Q_{\text{tila}}$  tilojen lämmitysenergian tarve, kWh

$Q_{\text{sis.lämpö}}$  lämmityksessä hyödynnettävät lämpökuormat, kWh

Tilojen lämmitysenergian tarve  $Q_{\text{tila}}$  saadaan summana lämpöenergian tarpeista ja johtumishäviöstä.  $Q_{\text{tila}}$  saadaan siis laskettua kaavalla:

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv.tuloilma}} + Q_{\text{iv.korvausilma}} \quad (72)$$

missä

$Q_{\text{tila}}$  tilojen lämmitysenergian tarve, kWh

$Q_{\text{joht}}$  johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan lävitse, kWh

$Q_{\text{vuotoilma}}$  vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

$Q_{\text{iv.tuloilma}}$  tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

$Q_{\text{iv.korvausilma}}$  korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

Johtumislämpöhäviö rakennusvaipan läpi  $Q_{\text{joht}}$  saadaan summana eri rakennusosien läpi tapahtuvista johtumislämpöhäviöistä. Tämä  $Q_{\text{joht}}$  lasketaan kaavalla:

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{muu}} + Q_{\text{kylmäsililat}} \quad (73)$$

missä

$Q_{\text{joht}}$  johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan lävitse, kWh

$Q_{\text{ulkoseinä}}$  johtumislämpöhäviö ulkoseinien lävitse, kWh

$Q_{\text{yläpohja}}$  johtumislämpöhäviö yläpohjan lävitse, kWh

$Q_{\text{alapohja}}$  johtumislämpöhäviö alapohjan lävitse, kWh

$Q_{\text{ikkuna}}$  johtumislämpöhäviö ikkunoiden lävitse, kWh

$Q_{\text{ovi}}$  johtumislämpöhäviö ulko-ovien lävitse, kWh

$Q_{\text{muu}}$  johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila eroaa ulkolämpötilasta, kWh

$Q_{\text{kylmäsililat}}$  johtumislämpöhäviö kylmäsilloista, kWh

Johtumislämpöhäviöt ulkoilmaan rajoittuville rakennusosille lasketaan rakennusosittain kaavalla. Tämä kaava on:

$$Q_{\text{rak.osa}} = \sum U_i \cdot A_i \cdot (T_s - T_u) \cdot \frac{\Delta t}{1000} \quad (74)$$

missä

$Q_{\text{rak.osa}}$	johtumislämpöhäviö tutkittavan rakennusosan lävitse, kWh
$U_i$	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$A_i$	rakennusosan i pinta-ala, m <sup>2</sup>
$T_s$	sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	ulkoilman lämpötila, °C
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla tehdään muunnos yksiköksi kWh

Kun lasketaan johtumislämpöhäviötä muuhun kuin ulkoilmaan  $Q_{\text{muu}}$ , niin käytetään samaa kaavaa kuin ulkoilmankin kanssa, mutta korvataan ulkoilman lämpötila  $T_u$  suunnitellulla muun tilan lämpötilalla. Tällainen tila voi esimerkiksi olla autotalli tai varasto. Maanvastaisen alapohjan kautta tapahtuvaa johtumislämpöhäviötä laskettaessa käytetään ulkoilman lämpötilan sijasta alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa. Tämä alapohjan alapuolinen maan vuosittainen keskilämpötila saadaan laskettua kaavalla:

$$T_{\text{maa.vuosi}} = T_{\text{u.vuosi}} + \Delta T_{\text{maa.vuosi}} \quad (75)$$

missä

$T_{\text{maa.vuosi}}$	alapohjan alapuolisen maan vuosittainen keskilämpötila, °C
$T_{\text{u.vuosi}}$	ulkoilman vuotuinen keskilämpötila, °C
$\Delta T_{\text{maa.vuosi}}$	alapohjan alapuolisen maan vuotuisen keskilämpötilan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero, °C

Maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan erona  $\Delta T_{\text{maa.vuosi}}$  käytetään arvoa 5 °C. Alapohjan alapuolinen maan kuukausittainen keskilämpötila saadaan laskettua käyttäen apuna maan vuotuista keskilämpötilaa. Maan kuukausittaisen keskilämpötilan kaava on:

$$T_{\text{maa.kuukausi}} = T_{\text{maa.vuosi}} + \Delta T_{\text{maa.kuukausi}} \quad (76)$$

missä

$T_{\text{maa.kuukausi}}$	alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila, °C
$T_{\text{maa.vuosi}}$	alapohjan alapuolisen maan vuosittainen keskilämpötila, °C
$\Delta T_{\text{maa.kuukausi}}$	alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero, °C

Alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan eron arvoja on esitetty taulukossa 2.17. Tämä ero voi olla negatiivinen, positiivinen tai nolla.

*Taulukko 2.17. Alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan erot (RakMK D5 2012).*

Kuukausi	$\Delta T_{\text{maa, kuukausi}}, ^\circ\text{C}$
Tammikuu	0
Helmikuu	-1
Maaliskuu	-2
Huhtikuu	-3
Toukokuu	-3
Kesäkuu	-2
Heinäkuu	0
Elokuu	1
Syyskuu	2
Lokakuu	3
Marraskuu	3
Joulukuu	2

Rakennusosien välisistä liitoksista aiheutuvista kylmäsilloista syntyy lämpöhäviöitä. Ne saadaan laskettua kaavalla:

$$Q_{\text{kylmäsilat}} = \sum l_k \cdot \Psi_k \cdot (T_s - T_u) \cdot \frac{\Delta t}{1000} \quad (77)$$

missä

$Q_{\text{kylmäsilat}}$	johtumislämpöhäviö kylmäsilloista, kWh
$l_k$	viivamaisen kylmäsilan pituus, m
$\Psi_k$	viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi, W/(m K)
$T_s$	sisäilman lämpötila, $^\circ\text{C}$
$T_u$	ulkoilman lämpötila, $^\circ\text{C}$
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla tehdään muunnos yksiköksi kWh

Viivamaisten kylmäsiltojen lisäkonduktanssin  $\Psi_k$  ohjearvoja on esitetty RakMK:n osassa D5 (2012). Näitä ohjearvoja voi käyttää jos suunnitteluarvoja ei ole saatavilla. Jos näitä ohjearvoja käytetään, niin on oletettu että liitokset on toteutettu hyvän rakennustavan mukaisesti. Tämä tarkoittaa, että liitosalueelle syntyvät kylmäsilat on pyritty minimoimaan.

Rakenteiden epätiiviyksien kautta rakennukseen tulee vuotoilmaa. Tämän vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia lasketaan kaavalla:

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v,\text{vuotoilma}} \cdot (T_s - T_u) \cdot \frac{\Delta t}{1000} \quad (78)$$

missä

$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia, kWh
$\rho_i$	ilman tiheys 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v,\text{vuotoilma}}$	vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$T_s$	sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	ulkoilman lämpötila, °C
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla tehdään muunnos yksiköksi kWh

Kaavassa 78 tarvittava vuotoilmavirta  $q_{v,\text{vuotoilma}}$  tulee määrittää. Se saadaan laskettua kaavalla:

$$q_{v,\text{vuotoilma}} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} \cdot A_{\text{vaippa}} \quad (79)$$

missä

$q_{v,\text{vuotoilma}}$	vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$q_{50}$	ilmanvuotoluku rakennusvaipalle, m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )
$A_{\text{vaippa}}$	rakennusvaipan pinta-ala, m <sup>2</sup>
$x$	kerroin, joka määräytyy rakennuksen kerrosten lukumäärästä
3600	kerroin jolla muutetaan ilmavirta yksiköstä m <sup>3</sup> /h yksikköön m <sup>3</sup> /s

Rakennusvaipan pinta-alaan  $A_{\text{vaippa}}$  lasketaan sisältyväksi myös alapohjan ala. Kerroin  $x$  määräytyy rakennuksen kerrosten määrästä. Jos kerroksia on yksi, niin kerroin  $x$  on 35 ja kun kerroksia on kaksi, niin kerroin on 24. Kerroin on kolmi- ja nelikerroksisille rakennuksille 20 ja sitä useampikerroksisille rakennuksille 15. Kerrokorkeus on noin 3 m ja pelkästään maanpinnan yläpuoliset kerrokset otetaan huomioon. Jos kerrokorkeus eroaa oleellisesti korkeudesta 3 m, niin kerroin  $x$  valitaan niin, että rakennuksen korkeus jaetaan 3 m:llä ja näin saadaan kerrointa  $x$  vastaava kerrosmäärä. Jos ilmanpitävyyttä ei tunneta, niin RakMK:n osan D5 (2012) mukaan rakennusvaipan ilmanvuotoluvulle  $q_{50}$  voidaan käyttää lämmitysenergian tarvetta laskettaessa arvoa 4 m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>). RakMK:n osan D3 (2012) mukaan ilmanvuotoluku saa korkeintaan olla 4 m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>). Tätä suurempi arvo voidaan sallia, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenneratkaisut heikentävät ilmanpitävyyttä merkittävästi. Ilmanpitävyys voi D3:n mukaan erota arvosta 4 m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>), jos rakennukselle on suoritettu mittauksia tai muita menettelyitä ilmanpitävyyden selvittämiseksi. Lämpöhäviöiden tasauslaskennassa käytetään ilmanpitävyyden vertailuarvona lukua 2 m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>).

Rakennuksen ilmanvuotoluvulla  $n_{50}$  tarkoitetaan ilmanvuotolukua 50 Pascalin paine-erolla. Ilmanvuotoluvuilla  $q_{50}$  ja  $n_{50}$  on yhteys, joka ilmenee seuraavasta RakMK:n osan D5 (2012) mukaisesta kaavasta:

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{\text{vaippa}}} \cdot V \quad (80)$$

missä

$q_{50}$	ilmanvuotoluku rakennusvaipalle, $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$
$n_{50}$	ilmanvuotoluku 50 Pascalin paine-erolla, $1/\text{h}$
$V$	rakennuksen tilavuus, $\text{m}^3$
$A_{\text{vaippa}}$	rakennusvaipan pinta-ala, $\text{m}^2$

Taulukossa 2.18 on esitetty tyypillisiä arvoja rakennuksen ilmanvuotoluvulle  $n_{50}$  ja rakennusvaipan ilmanvuotoluvulle  $q_{50}$ . Taulukossa esitetyt luvut riippuvat rakennustyy-  
pistä ja rakentamisen toteutuksesta.

**Taulukko 2.18.** Tyypillisiä rakennuksen ilmanvuotolukuja  $n_{50}$  ja  $q_{50}$  erityyppisille rakennuksille (RakMK D5 2012).

Tavoiteilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset $n_{50}$ -luvut, $1/\text{h}$	Tyypilliset $q_{50}$ -luvut, $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1,0 – 3,0  Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5 – 1,5	Pientalot 1,0 – 3,0  Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,0 – 4,0
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu ta- vanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3,0 – 5,0  Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5 – 3,0	Pientalot 3,0 – 5,0  Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 4,0 – 8,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelus- sa eikä rakennustyön toteutukses- sa ja valvonnassa	Pientalo 5,0 – 10,0  Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3,0 – 7,0	Pientalot 5,0 – 10  Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 8,0 – 20,0

Vuotoilmavirran suuruutta voidaan arvioida mitattujen tietojen avulla. Vuotoilmavirta syntyy tuulen ja lämpötilaerojen aiheuttamista paine-eroista. Ilmavuodon suuruuteen vaikuttavat rakennuksen vaipan ilmanpitävyys, rakennuksen korkeus ja sijainti, ilmanvaihtojärjestelmä ja sen käyttötap. Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttaman alipaineen vaikutuksesta sisälle virtaava ilma, joka poistetaan ilmanvaihtojärjestelmän kautta, ei sisälly vuotoilmavirtaan.

### 2.9.1 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeen laskenta

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeella tarkoitetaan ilmanvaihtokoneessa tapahtuvan tuloilman lämmittämiseen tarvittavaa lämmitysenergian määrää. RakMK:n osan D5 vuoden 2012 versiossa esitelty tapa ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeen laskemiseksi soveltuu tapauksiin, joiden järjestelmässä käytetään vakioilmavirtaa ja ilmkäsittelyprosessi muodostuu vain ilman lämmittämisestä. Jos siis ilmanvaihdon ilmkäsittelyprosessissa on jäähdytystä tai kostutusta, niin on käytettävä muuta laskentamenetelmää. Sama pätee ilmamäärän perusteella säädettäviin ilmanvaihtojärjestelmiin.

Ilmanvaihtokoneessa tuloilman lämmitys saattaa tapahtua eri energiamuotoa käyttäen kuin tilakohtainen lämmitys. Näiden järjestelmien hyötysuhteetkin poikkeavat toisistaan. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve lasketaan jokaiselle ilmanvaihtokoneelle erikseen kaavalla:

$$Q_{iv} = t_d \cdot t_v \cdot \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v,tulo} \cdot \left[ (T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto} \right] \cdot \frac{\Delta t}{1000} \quad (81)$$

missä

$Q_{iv}$	ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
$t_d$	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen käyntiaikasuhte, h/(24h)
$t_v$	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte, vrk/(7vrk)
$\rho_i$	ilman tiheys 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$T_{sp}$	sisäänpuhalluslämpötila, °C
$\Delta T_{puhallin}$	puhaltimessa tapahtuva lämpötilan nousu, °C
$T_{lto}$	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen tuloilmalämpötila, °C
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla tehdään muunnos yksiköksi kWh

Jos ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve  $Q_{iv}$  saa negatiivisen arvon, niin käytetään sille arvoa nolla. Lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen kuukauden keskimääräinen tuloilmalämpötila  $T_{lto}$  saadaan laskettua kaavalla:

$$T_{lto} = T_u + \frac{\phi_{lto}}{t_d \cdot t_v \cdot \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v,tulo}} \quad (82)$$

missä

$T_{lto}$	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen tuloilmalämpötila, °C
$T_u$	ulkoilman lämpötila, °C
$\phi_{lto}$	kuukauden keskimääräinen teho, joka on otettu talteen lämmöntalteenotolla, W

$t_d$	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen käyntiaikasuhde, h/(24h)
$t_v$	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/(7vrk)
$\rho_i$	ilman tiheys 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta, m <sup>3</sup> /s

Jos ilmanvaihdossa on sellainen lämmöntalteenottolaitteisto, joka ei siirrä poistoilmasta talteenotettua lämpöä tuloilmaan, niin  $T_{lto}$ :lle käytetään ulkoilman lämpötilaa  $T_u$ . Samoin tehdään tapauksissa, joissa lämmöntalteenottolaitteistoa ei käytetä ollenkaan. Lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho  $\phi_{lto}$  saadaan laskettua kaavalla:

$$\phi_{lto} = \eta_{a,ivkone} \cdot t_d \cdot t_v \cdot \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v,poisto} \cdot (T_s - T_u) \quad (83)$$

missä

$\phi_{lto}$	kuukauden keskimääräinen teho, joka on otettu talteen lämmöntalteenotolla, W
$\eta_{a,ivkone}$	ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde
$t_d$	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen käyntiaikasuhde, h/(24h)
$t_v$	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/(7vrk)
$\rho_i$	ilman tiheys 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v,poisto}$	poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$T_s$	sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	ulkoilman lämpötila, °C

Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhdetta  $\eta_{a,ivkone}$  voidaan käyttää kaikille kuukausille. Laskennassa kesä-, heinä- ja elokuussa ilmanvaihdon jälkilämmitys ja lämmöntalteenotto ovat poissa käytöstä, jos rakennuksen käyttö ei edellytä muuta. Tuloilman sisäänpuhalluslämpötilana voidaan käyttää RakMK:n arvoa 18 °C, jos parempaa tietoa ei ole käytettävissä. Puhaltimessa tapahtuvan lämpötilan nousun suuruutena voidaan oletuksena käyttää arvoa 0,5 °C, jos tarkempia lähtötietoja ei ole käytettävissä.

## 2.9.2 Tuloilman ja korvausilman lämmitysenergian tarpeen laskenta

Tuloilma lämmitetään sisäänpuhalluslämpötilasta sisäilman lämpötilaan tilan sisällä. Tuloilman lämpeneminen tilassa saadaan laskettua erikseen kaikille ilmanvaihtokoneille kaavalla:

$$Q_{iv,tubilma} = t_d \cdot t_v \cdot \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v,tulo} \cdot (T_s - T_{sp}) \cdot \frac{\Delta t}{1000} \quad (84)$$

missä

$Q_{iv.tuloilma}$	tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
$t_d$	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen käyntiaikasuhte, h/(24h)
$t_v$	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte, vrk/(7vrk)
$\rho_i$	ilman tiheys 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kgK)
$q_{v.tulo}$	tuloilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$T_s$	sisäilman lämpötila, °C
$T_{sp}$	sisäänpuhalluslämpötila, °C
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla tehdään muunnos yksiköksi kWh

Sisäänpuhalluslämpötilaan vaikuttavat ulkolämpötila, lämmöntalteenotto, ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin toiminta ja tuloilman lämpötilan nousu puhaltimessa. Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve saadaan laskettua seuraavanlaisella kaavalla:

$$Q_{iv.korvausilma} = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v.korvausilma} \cdot (T_s - T_u) \cdot \frac{\Delta t}{1000} \quad (85)$$

missä

$Q_{iv.korvausilma}$	korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
$\rho_i$	ilman tiheys 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kgK)
$q_{v.korvausilma}$	korvausilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$T_s$	sisäilman lämpötila, °C
$T_u$	ulkoilman lämpötila, °C
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla tehdään muunnos yksiköksi kWh

Kaavassa tarvittava korvausilmavirta  $q_{v.korvausilma}$  tulee määrittää. Se saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

$$q_{v.korvausilma} = \sum t_d \cdot t_v \cdot q_{v.poisto} - \sum t_d \cdot t_v \cdot q_{v.tulo} \quad (86)$$

missä

$q_{v.korvausilma}$	korvausilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$t_d$	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen käyntiaikasuhte, h/(24h)
$t_v$	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte, vrk/(7vrk)
$q_{v.poisto}$	poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$q_{v.tulo}$	tuloilmavirta, m <sup>3</sup> /s

Jos tuloilmavirta on yhtä suuri tai suurempi kuin poistoilmavirta, niin korvausilmaa ei ole. Painovoimaisilla ilmanvaihtojärjestelmillä ja koneellisilla poistoilmajärjestelmillä



kaikki tilaan tuleva tuloilma tulee korvausilmana. Tämä lasketaan kaavalla 86. Tällaisissa tapauksissa tuloilmavirta  $q_{v,tulo}$  on suuruudeltaan nolla. Ilmanvaihdosta talteen otettu energia saadaan laskettua kaavalla:

$$Q_{lto} = \sum t_d \cdot t_v \cdot \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v,tulo} \cdot (T_{lto} - T_u) \cdot \frac{\Delta t}{1000} \quad (87)$$

missä

$Q_{lto}$	ilmanvaihdosta talteen otettu energia, kWh
$t_d$	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen käyntiaikasuhte, h/(24h)
$t_v$	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte, vrk/(7vrk)
$\rho_i$	ilman tiheys 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta, m <sup>3</sup> /s
$T_{lto}$	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen tuloilmalämpötila, °C
$T_u$	ulkoilman lämpötila, °C
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla tehdään muunnos yksiköksi kWh

### 2.9.3 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeen laskenta

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeeseen sisältyy kulutetun lämpimän käyttöveden lämmittäminen kylmän veden lämpötilasta lämpimän käyttöveden vaatimaan lämpötilaan ilman mahdollista lämmityslaitteen, varaajan taikka putkiston lämpöhäviöenergiaa. Lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve saadaan laskettua kaavalla:

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v \cdot c_{pv} \cdot V_{lkv} \cdot \frac{(T_{lkv} - T_{kv})}{3600} - Q_{lkv,LTO} \quad (88)$$

missä

$Q_{ltv,netto}$	lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve, kWh
$\rho_v$	veden tiheys 1000 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)
$V_{lkv}$	lämpimän käyttöveden kulutus, m <sup>3</sup>
$T_{lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$T_{kv}$	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
3600	kerroin, jonka avulla tehdään muunnos yksiköksi kWh, s/h
$Q_{ltv,LTO}$	energia, joka on jäteveden lämmöntalteenotolla talteenotettu ja käyttöveden lämmityksessä hyväksikäytetty, kWh

Lämpimän käyttöveden ja kylmän käyttöveden erotuksena käytetään arvoa 50 °C, jos ei ole perusteltua käyttää muuta arvoa. RakMK:n osan D3 vuoden 2012 version mukaisesti kylmän käyttöveden lämpötila on 5 °C ja lämpimän käyttöveden lämpötila on 55 °C.

Tarkasteltaessa rakennuksen energiatehokkuutta koskevia määräyksiä käytetään D3:n mukaisia lämpimän käyttöveden kulutuksia. Nämä kulutukset riippuvat rakennuksen käyttötarkoituksesta ja ne on esitetty taulukossa 2.19. Muun tyyppisissä tarkasteluissa voidaan käyttää muitakin arvoja. Taulukko on otettu Ympäristöministeriön asetuksesta rakennusten energiatehokkuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta (27.2.2013). Kyseisessä dokumentissa on esitetty RakMK:n osan D3 vuoden 2012 versioon tehtävät muutokset.

*Taulukko 2.19. Lämpimän käyttöveden ominaiskulutukset ja lämmitysenergian nettotarpeet (Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta 2013).*

Käyttötarkoituseri	Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus dm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> vuosi)	Lämmitysenergia kWh/(m <sup>2</sup> vuosi)
Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalot <sup>1)</sup>	600	35
Asuinkerrostalo	600	35
Toimistorakennus	103	6
Liikerakennus	68	4
Majoitusliikerakennus	685	40
Opetusrakennus ja päiväkot	188	11
Liikuntahalli	343	20
Sairaala	515	30

<sup>1)</sup> asuntoa kohden kuitenkin enintään 72 400 dm<sup>3</sup>/vuosi tai 4 200 kWh/vuosi.

Erillisellä pientalolla sekä rivi- ja ketjutalolla on D3:n korjausten mukaan siis yläraja lämpimän käyttöveden kulutukselle. Jos ominaiskulutuksella 600 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> vuodessa ylitetään 72400 dm<sup>3</sup>, niin käytetään lämpimälle käyttövedelle vuosikulutusta 72 400 dm<sup>3</sup>. Samoin jos lämpimän käyttöveden lämmitysenergia ylittää vuodessa arvon 4200 kWh, niin käytetään tätä arvoa 4200 kWh vuosikulutuksena lämpimän käyttöveden lämmitykselle. Lämmitetyn nettoalan raja, jota suuremmissa pientaloissa nämä rajoitukset tulevat voimaan on noin 120 m<sup>2</sup>. Tätä pienemmissä taloissa rajoitukset eivät tule voimaan, kun käytetään lämpimälle käyttövedelle lämmitetyn nettoalan mukaan määräytyvää vesimäärää.

Lämpimän käyttöveden kulutus voidaan ilmoittaa myös henkilöperustaisena. Asuinrakennuksissa, joissa on huoneistokohtainen mittaus- ja laskutusjärjestely voidaan henkilöperustaisena kulutuksena käyttää arvoa 50 dm<sup>3</sup>/ henkilö vuorokautta kohden. Muissa tapauksissa voidaan käyttää arvoa 60 dm<sup>3</sup>/ henkilö vuorokautta kohden. Lämpimän käyttöveden kulutus  $V_{lkv}$  saadaan laskettua lähtöarvoista riippuen jommallakummalla seuraavista kaavoista:

$$V_{\text{lkv}} = n \cdot V_{\text{lkv,omin.henk}} \cdot \frac{\Delta t}{1000} \quad (89)$$

$$V_{\text{lkv}} = V_{\text{lkv,omin}} \cdot A_{\text{netto}} \cdot \frac{\Delta t}{365} \quad (90)$$

missä

$V_{\text{lkv}}$	lämpimän käyttöveden kulutus, m <sup>3</sup>
$n$	henkilöiden lukumäärä
$V_{\text{lkv,omin.henk}}$	lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, dm <sup>3</sup> / henkilö vuorokaudessa
$\Delta t$	ajanjakson pituus, vrk
1000	kerroin, jolla tehdään muunnos yksiköksi dm <sup>3</sup> , dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
$V_{\text{lkv,omin}}$	lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, dm <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> vuodessa
$A_{\text{netto}}$	lämmitetty nettoala, m <sup>2</sup>
365	kerroin, jolla tehdään muunnos vuosikulutuksesta vuorokausikulutukseksi, vrk/vuosi

Joissain tapauksissa lähtötietona laskuissa on saatettu käyttää käyttöveden ominaiskulutusta. Tällaisissa tapauksissa asuinrakennuksissa lämpimän käyttöveden osuutena kokonaiskulutuksesta voidaan käyttää määrää, joka on suuruudeltaan 40 %.

## 2.10 Aurinkosähköjärjestelmä

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D5 vuoden 2012 versiossa on esitetty laskentamenetelmä, jolla saadaan laskettua rakennukseen liitetyn aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähköenergia. Kyseinen laskentamenetelmä ei ota huomioon sähkön siirtoa, jakelua ja varastointia. Aurinkosähköjärjestelmän tulee sijaita rakennuksessa tai sen välittömässä läheisyydessä. Aurinkosähkökennoilla tuotettu sähköenergia saadaan laskettua kaavalla:

$$W_{\text{pv}} = \frac{G_{\text{aur}} \cdot P_{\text{maks}} \cdot F_{\text{käyttö}}}{I_{\text{ref}}} \quad (91)$$

missä

$W_{\text{pv}}$	aurinkosähkökennoilla tuotettu sähköenergia vuodessa, kWh/a
$G_{\text{aur}}$	aurinkosähkökennostoon kohdistuva auringon säteilyn energia vuodessa, kWh/m <sup>2</sup>
$P_{\text{maks}}$	aurinkosähkökennoilla tuotettu suurin sähköteho, jonka kennosto tuottaa referenssisäteilytilanteessa, kW
$F_{\text{käyttö}}$	käyttötilanteen toimivuuskerroin
$I_{\text{ref}}$	referenssisäteilytilanne, 1 kWh/m <sup>2</sup>

Referenssisäteilytilanteessa  $I_{\text{ref}}$  on 1 kWh/m<sup>2</sup> ja referenssilämpötila on 25 °C. Käyttötilanteen toimivuuskerroin  $F_{\text{käyttö}}$  ottaa huomioon ympäristötekijöitä, esimerkiksi kennon

toimintalämpötilan vaikutuksen, sähköenergian inversion tasavirrasta vaihtovirtaan sekä asennusympäristön vaikutuksen. Aurinkosähkökennostoon kohdistuva auringon säteilyn energia vuoden ajanjaksolla  $G_{aur}$  saadaan laskettua kaavalla:

$$G_{aur} = G_{aur.hor} \cdot F_{asento} \quad (92)$$

missä

$G_{aur}$  aurinkosähkökennostoon kohdistuva auringon säteilyn energia vuodessa, kWh/m<sup>2</sup>

$G_{aur.hor}$  vaakatasolle kohdistuvan auringon säteilyn energia vuodessa, kWh/m<sup>2</sup>

$F_{asento}$  aurinkosähkökennon korjauskerroin, joka riippuu ilmansuunnasta ja kallistuskulmasta

Vaakatasolle kohdistuvan auringon säteilyn energian  $G_{aur.hor}$  arvoja löytyy RakMK:n osasta D3 (2012). Aurinkosähkökennon korjauskertoimen määrittämisen ohjeet löytyvät RakMK:n osasta D5 (2012). Referenssitilanteessa aurinkosähkökennoilla tuotettu suurin sähköteho  $P_{maks}$  on laitteen testattu teho standardiolosuhteissa.  $P_{maks}$  saadaan kuitenkin laskettua, jos testattua tehoa ei ole tiedossa. Kaava tämän laskemiseen on:

$$P_{maks} = K_{maks} \cdot A_{kenno} \quad (93)$$

missä

$P_{maks}$  aurinkosähkökennoilla tuotettu suurin sähköteho, jonka kennosto tuottaa referenssisäteilytilanteessa, kW

$K_{maks}$  huipputehokerroin, joka riippuu aurinkosähkökennon tyypistä, kW/m<sup>2</sup>

$A_{kenno}$  aurinkosähkökennon pinta-ala, m<sup>2</sup>

Kehystä ei sisällytetä aurinkosähkökennon pinta-alaan. Huipputehokertoimia  $K_{maks}$  löytyy RakMK:n osasta D5 (2012).

## 2.11 Lämpöhäviöiden tasauslaskenta

Lämpöhäviöiden määräystenmukaisuus osoitetaan RakMK:n osan D3 (2012) mukaan lämpöhäviöiden tasauslaskennalla. Lämpöhäviö saa olla korkeintaan yhtä suuri kuin D3:n mukaisilla vertailuarvoilla rakennukselle määritetty vertailulämpöhäviö. Vanhan D5:n (2007) mukaisen lämpöhäviön  $Q_{lämpöhäviö}$  kaava 25 on esitetty jo aiemmin. Uuden D3:n (2012) mukainen kaava rakennuksen kokonaislämpöhäviölle on:

$$H = H_{joht} + H_{vuotoilma} + H_{iv} \quad (94)$$

missä

$H$  rakennuksen ominaislämpöhäviö, W/K

$H_{joht}$  rakennuksen vaipan ominaislämpöhäviö, W/K

$H_{vuotoilma}$  rakennuksen vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

$H_{iv}$  ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K

Rakennuksen vaipan ominaislämpöhäviö lasketaan rakennusosittain summaamalla. Tauslaskennassa otetaan huomioon rakennusosien säännölliset kylmäsillat, muttei rakenteiden välisiä liitoksia. Vaipan lämpöhäviön kaava on:

$$\Sigma H_{joht} = \Sigma (U_{ulkoseinä} \cdot A_{ulkoseinä}) + \Sigma (U_{yläpohja} \cdot A_{yläpohja}) + \Sigma (U_{alapohja} \cdot A_{alapohja}) + \Sigma (U_{ikkuna} \cdot A_{ikkuna}) + \Sigma (U_{ovi} \cdot A_{ovi}) \quad (95)$$

missä

$\Sigma H_{joht}$  rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, W/K

$U...$  alaindeksin mukaisen rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m<sup>2</sup>K)

$A...$  alaindeksin mukaisen rakennusosan pinta-ala, m<sup>2</sup>

Ikkunoiden yhteenlasketun kokonaisalan vertailuarvona käytetään alaa, joka on 15 % rakennuksen kokonaan tai osittain maanpäällisten kerrostasojen summasta. Arvo voi kuitenkin enintään olla 50 % rakennuksen julkisivujen pinta-alasta. Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään suunniteltuja ikkunapinta-aloja ja rakennusosien lämmönläpäisykertoimia. Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviö saadaan laskettua kaavalla:

$$H_{vuotoilma} = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v.vuotoilma} \quad (96)$$

missä

$H_{vuotoilma}$  rakennuksen vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

$\rho_i$  ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_{pi}$  ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kg K)

$q_{v.vuotoilma}$  vuotoilmavirta, m<sup>3</sup>/s

Termi  $q_{v.vuotoilma}$  lasketaan kaavalla 79. Rakennuksen vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään laskuissa rakennusvaipan ilmanvuotolukua  $q_{50}$ , joka on arvoltaan 2,0 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>). Rakennuksen ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan seuraavan kaavan mukaisesti:

$$H_{iv} = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v.poisto} \cdot t_d \cdot t_v \cdot (1 - \eta_a) \quad (97)$$

missä

$H_{iv}$  ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K

$\rho_i$  ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_{pi}$  ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kg K)

$q_{v.poisto}$  laskennallinen standardikäytön mukainen poistoilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$t_d$  ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte, h/(24h)

$t_v$  ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte, vrk/(7vrk)

$\eta_a$  ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde

Ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan tarvittaessa erikseen jokaiselle rakennuksen ilmanvaihtokoneelle. Vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteelle arvoa 45 %.

### 3 LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

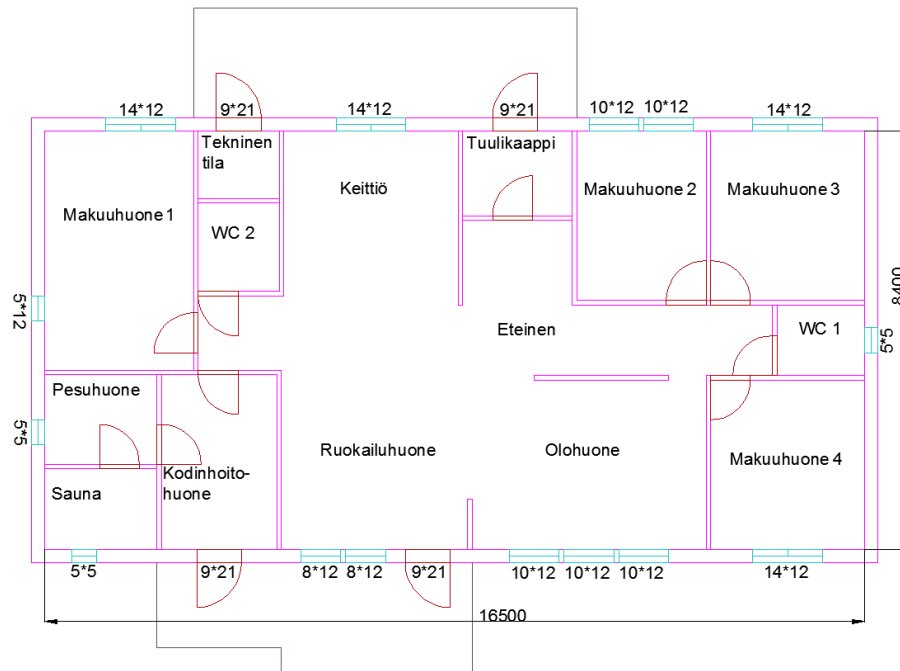
Tässä luvussa esitellään mallitalo, jota käytetään tutkimuksissa. Tämä rakennus on kuvitteellinen pientalo Tampereella. Siitä on tehty kaksi eri perusversiota. Toinen on kaukolämmitteinen ja toinen sähkölämmitteinen. Tässä luvussa kerrotaan myös muista lähtötiedoista ja rakennuksen ominaisuuksista. Lisäksi esitellään kaikki rakennuksen vaihtoehdot, joita laskennassa käytetään.

#### 3.1 Mallitalon esittely

Tarkasteltavaksi pientaloksi valittiin talo, jota oli käytetty aiemmin tutkimuksissa käsinlasketuissa kuukausitason energiankulutuslaskelmissa. Näitä laskelmia oli tehty Natalia Kajavan vuonna 2012 valmistuneessa kandidaatintyössä nimeltään ”Uusien energiamäärien täyttäminen suoraa sähkölämmitystä käyttävissä pientaloissa”. Kajavan kandidaatintyössä tutkittiin kuvitteellista Tampereella sijaitsevaa omakotitaloa ja sille tehtäviä tarvittavia toimenpiteitä, jotta uudet energiamääräykset täytettäisiin. Kyseisessä laskennassa tutkittavat rakennukset olivat puurunkoinen pientalo maanvaraisella teräsbetonisella alapohjalla varustettuna sekä hirsirunkoinen pohjapiirustukseltaan samanlainen ryömintätilainen rakennus. Rakennukset olivat yksikerroksisia. Näitä rakennuksia tutkittiin laskennallisesti sähkö-, kauko-, pelletti- ja öljylämmityksellä. Kaukolämmityksellä ja pellettilämmityksellä varustetut rakennukset läpäisivät uudet E-lukuvaatimukset. Sähkö ja öljylämmitteiset rakennukset jäivät kauaksi vaaditusta E-lukuarvosta. Sen jälkeen Kajavan kandidaatintyössä tutkittiin mitä parannuksia tarvitsee sähkölämmitteisille rakennuksille tehdä, jotta ne läpäisisivät uudet E-lukuvaatimukset. Tässä diplomityössä tutkitaan puurunkoista taloa. Hirsirunkoista taloa ei tutkita.

##### 3.1.1 Mallitalon mitat

Rakennus on yksikerroksinen omakotitalo. Pohjapiirustus on esitetty kuvassa 3.1. Rakennuksessa on neljä ulko-ovea, jotka ovat puusta tehtyjä. Ulko-ovissa ei ole lasia, mikä alentaisi oven U-arvoa. Ulko-ovet avautuvat kattamattomille terasseille, joita on yksi rakennuksen pohjoisseinällä ja yksi eteläseinällä. Rakennuksessa on suuri yhtenäinen tila keskellä, mikä koostuu keittiöstä, eteisestä, ruokailuhuoneesta ja olohuoneesta. Tässä tilassa on kolme väliseinän pätkää joiden yhteispituus on 5,4 metriä. IDA-ICE -ohjelmassa ei ole mallinnettu näitä tämän suuren tilan sisäisiä väliseiniä. Tilan kokonaisala on 62,4 m<sup>2</sup>. Rakennuksen nettoala on 138,6 m<sup>2</sup>, joten suuren keskustilan ala on 45 % koko rakennuksen nettoalasta. Kaikkien sisätilojen huonekorkeus on 2,5 metriä.



Kuva 3.1. Tutkittavan rakennuksen pohjapiirustus.

Ulko-ovet ovat korkeudeltaan 2,1 m ja leveydeltään 0,9 m. Sisäovet ovat yhtä korkeita, mutta niiden leveys on 0,8 m. Taulukossa 3.1 on esitetty rakennuksen huoneiden alat, joita rajaavat ulkoseinien ja väliseinien sisäpinnat. Kun väliseiniä ei ole poistettu lattian alasta, niin rakennuksen lämmitetty nettoala on 138,6 m<sup>2</sup>.

Taulukko 3.1. Tutkittavan rakennuksen tilakohtaiset alat ja ilmatilavuudet.

Huone	Ala [m <sup>2</sup> ]	Ilmatilavuus [m <sup>3</sup> ]
Makuuhuone 1	14,38	35,95
Makuuhuone 2	8,79	21,97
Makuuhuone 3	10,52	26,30
Makuuhuone 4	10,54	26,35
Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone	62,42	156,05
Tuulikaappi	3,70	9,26
WC 1	2,49	6,23
WC 2	2,89	7,22
Kodinhuone	8,12	20,31
Pesuhuone	4,07	10,17
Sauna	3,67	9,18
Tekninen tila	2,19	5,46
<b>Yhteensä</b>	<b>133,78</b>	<b>334,44</b>

Tässä diplomityössä tutkitaan puurunkoista rakennusta. Puurunkoisesta rakennuksesta on kaksi eri versiota. Toinen versio on kaukolämmöllä lämmitetty versio rakennuksesta, jonka vaipan lämmönläpäisykertoimet ja muutkin ominaisuudet ovat Suomen Rakentamismääräyskokoelman vertailuarvojen mukaiset. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimet



mien vertailuarvot on esitetty RakMK:n vuoden 2012 osassa D3. Sähköllä lämmitetyssä rakennuksessa on suuremmat rakennusvaipan eristepaksuudet, ja muitakin ominaisuuksia on paranneltu, jotta rakennus täyttäisi E-luvun vaatimukset. Näistä versioista on vielä eri variaatioita, jotka esitellään myöhemmin.

Taulukossa 3.2 on esitetty eri rakenneosien pinta-alat ja lämmönläpäisykertoimet kaukolämmitetyllä ja sähköllä lämmitetyllä pientalolla. Pinta-alat ovat yhtä suuret kaikilla rakennuksen variaatioilla.

*Taulukko 3.2. Rakenneosien pinta-alat ja lämmönläpäisykertoimet tutkittavassa rakennuksessa.*

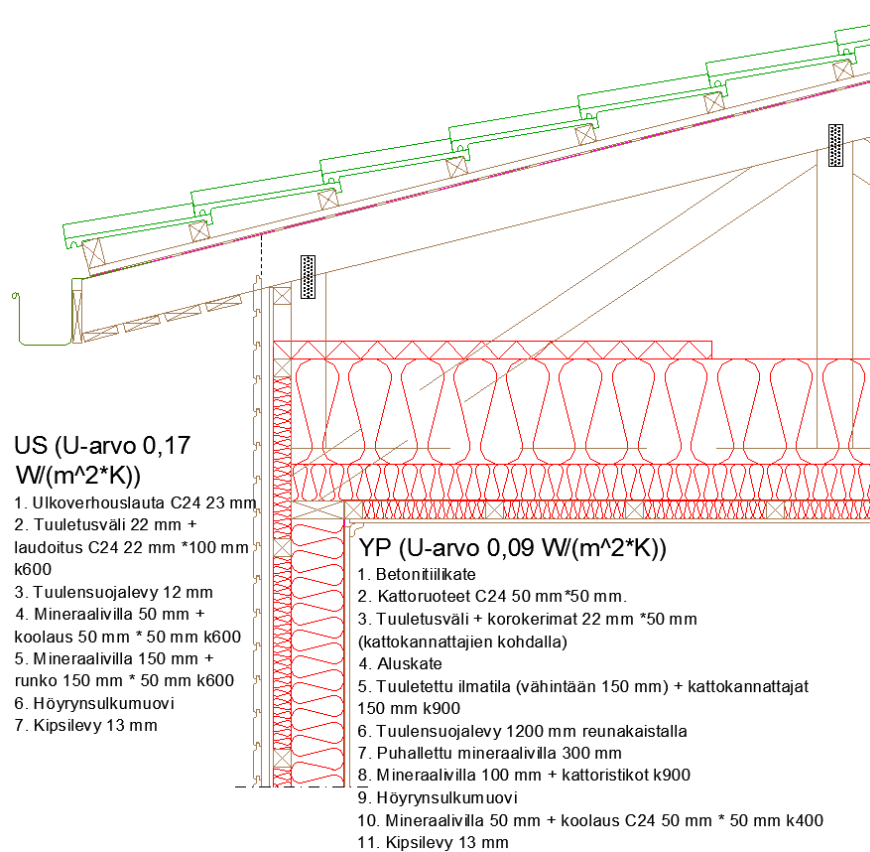
Rakenne	Lämmönläpäisykerroin [W/(m <sup>2</sup> K)]		Pinta-alat [m <sup>2</sup> ]	
	Kaukolämmitetty rakennus	Sähköllä lämmitetty rakennus	Kaukolämmitetty rakennus	Sähköllä lämmitetty rakennus
Ulkoseinä	0,17	0,11	100,95	100,95
Alapohja	0,16	0,16	138,6	138,6
Yläpohja	0,09	0,08	138,6	138,6
Väliseinä	0,47	0,47	108,22	108,22
Ikkuna	1,00	0,72	15,99	15,99
Ulko-ovi	1,00	0,66	7,56	7,56

Alapohjan lämmönläpäisykerroin on 0,16 W/(m<sup>2</sup>K), jos maan lämmönvastus on otettu huomioon. Energiankulutuslaskelmissa ja IDA-ICE:ssa käytetään arvoa, jossa maata ei ole otettu huomioon. Tällöin alapohjan lämmönläpäisykertoimen arvo on 0,25 W/(m<sup>2</sup>K). Maa liitetään erikseen alapohjaan IDA-ICE:a käytettäessä. Väliseinien U-arvoa käytetään vain IDA-ICE-laskennassa. Väliseinien ominaisuudet ovat samanlaiset kaikilla tutkittavilla rakennuksen variaatioilla. Ikkunoiden valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin g on arvoltaan 0,32.

### 3.1.2 Kaukolämmitetty rakennus

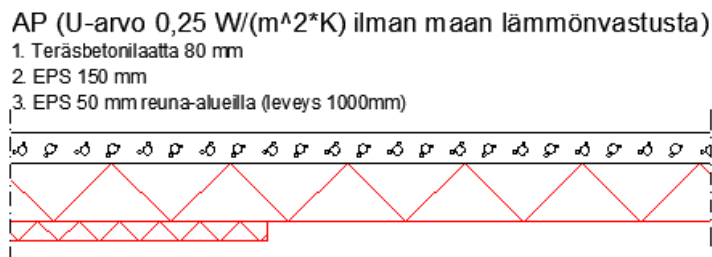
E-lukuvaatimuksen raja-arvo tutkittavalle pientalolle on 178 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Vaipan ilmanvuotolukuna q<sub>50</sub> on kaukolämmitetyllä rakennuksella käytetty arvoa 2,0 m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>).

Ulkoseinärakenne ja yläpohjarakenne on esitelty kuvassa 3.2. Kuvassa näkyvät myös rakenteiden liitokset. Seinät ja yläpohja ovat puurakenteisia. Kallistettu vesikatto on betonitiilikatteinen, ja sen kallistus on 1/4. Räystäsleveys on rakennuksella 500 mm. Yläpohjan tuuletusväli on yli 150 mm reunojenkin kohdalla. Seinä- ja kattopinnat ovat rakennuksessa kipsilevyä. WC-, pesu- ja saunatiloissa käytetään tietysti erilaisia pinta-materiaaleja, mutta tätä ei ole laskennassa otettu huomioon. Ulkoseinän lämmönläpäisykerroin on D3:n vertailulämpöhäviön laskennan mukaisesti 0,17 W/(m<sup>2</sup>K). Yläpohjan lämmönläpäisykerroin on arvoltaan 0,09 W/(m<sup>2</sup>K).



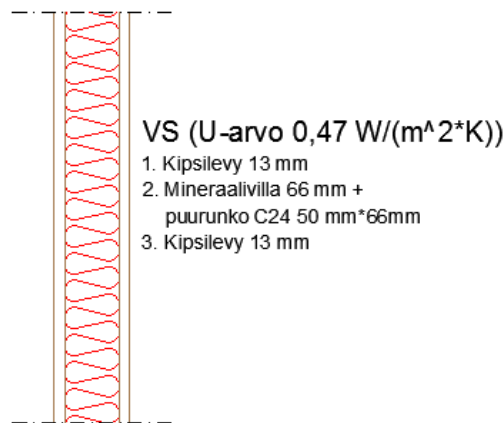
**Kuva 3.2. Ulkoseinän ja yläpohjan rakenne kaukolämmitetyllä rakennuksella.**

Alapohja on maanvastainen teräsbetonilaatta. Perusmuuri on kevytsoraharkkorakenteinen. Alapohjalla on lämmöneristeenä 150 mm paksu EPS ja metrin levyisellä reunalueella 50 mm paksu EPS. Alapohjan rakenne on esitetty kuvassa 3.3. Alapohjan lämmönläpäisykerroin on RakMK:n osan D3 vertailuarvojen (2012) mukaisesti arvoltaan 0,16 W/(m<sup>2</sup>K), kun otetaan maan lämmönläpäisykerroin mukaan. Kun maan lämmönvastusta ei ole otettu huomioon, niin alapohjan lämmönläpäisykerroin on arvoltaan 0,25 W/(m<sup>2</sup>K).



**Kuva 3.3. Alapohjan rakenne kaukolämmitetyllä rakennuksella.**

Väliseinät ovat 92 mm paksuja. Pinnat ovat kipsilevyä, ja niiden väli on äänieristetty. Leikkauskuva väliseinästä on esitetty kuvassa 3.4. Kaikki väliseinät ovat rakenteeltaan samanlaisia. Väliseinän lämmönläpäisykerroin on 0,47 W/(m<sup>2</sup>K).



Kuva 3.4. Väliseinän rakenne kaikilla tutkittavilla tapauksilla.

Ovien ja ikkunoiden lämmönläpäisykertoimina käytetään RakMK:n D3:n (2012) vertailuarvojen mukaisesti arvoa 1,0 W/(m<sup>2</sup>K). Ikkunoiden karmien lämmönläpäisykertoimeksi käytetään samaa arvoa kuin ikkunoissakin, eli 1,0 W/(m<sup>2</sup>K). Rakennuksen ikkunoiden todellinen yhteenlaskettu ala on 15,99 m<sup>2</sup>.

Viivamainen kylmäsilta aiheuttaa lisäkonduktanssia. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 (2012) mukaan ulkoseinän ja yläpohjan välinen lisäkonduktanssi on käytetyllä rakenteella 0,05 W/(m K). Ulkoseinän ja alapohjan välinen lisäkonduktanssi on taas arvoltaan 0,10 W/(m K). Ulkoseinien välisen liitoksen ulkonurkan lisäkonduktanssi on 0,04 W/(m K) ja sisänurkkien -0,04 W/(m K). Ikkuna- ja oviliitoksen kohdalla lisäkonduktanssin arvo on lämmöneristeen kohdalla 0,04 W/(m K). Väliseinän ja ulkoseinän väliselle liitokselle lisäkonduktanssin arvona käytetään 0,02 W/(m K).

Kaukolämmitetyssä rakennuksessa ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen arvo on 45 %. Kaukolämmitetyssä ratkaisussa lämmönjakojärjestelmä koostuu vesiradiaattoreista. Jakojohdot ovat eristettyjä. Tällaisen lämmitysjärjestelmän lämmönjaon ja -luovutuksen hyötysuhde on 0,90. Vesiradiaattoreiden menoveden lämpötila on 45 °C ja paluuv veden lämpötila on 35 °C.

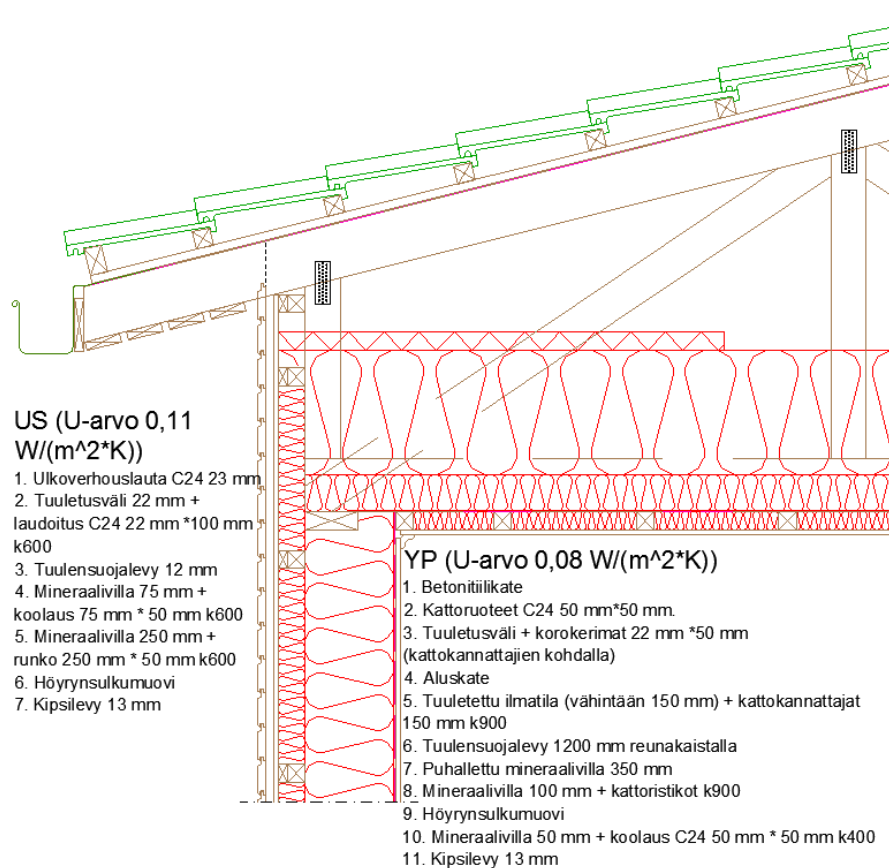
Lämmitysenergian tuoton hyötysuhteena  $\eta_{\text{tuotto}}$  on käytetty RakMK:n osan D5 (2012) mukaista arvoa kaukolämmölle 0,94. Tätä hyötysuhdetta käytetään tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä.

### 3.1.3 Sähköllä lämmitetty rakennus

Sähkölämmitteinen rakennus on paranneltu versio kaukolämmitteisestä rakennuksesta. Jotta sähköllä lämmitettävä rakennus sai tarpeeksi alhaisen E-luvun, on täytynyt rakennusta parannella monin tavoin. Tämä johtuu sähkön energianmuotokertoimesta 1,7. Kun puurunkoista rakennusta paranneltiin, siihen tehtiin rakenteellisia muutoksia sekä myös muita parannuksia liittyen muun muassa lämmitykseen ja tiiviyyteen.

Väliseinien rakenteelle ei ole tehty muutoksia. Myöskään alapohjan rakenne ei ole muuttunut. Ulkoseinärakenteen eristepaksuus kasvoi alkuperäisratkaisusta. Rakenne

on muuten sama kuin kaukolämmitetyllä rakennuksella, mutta paksumpi mineraalivillakerros kasvoi 0,15 metristä 0,25 metriin ja ohuempi mineraalivillakerros 0,05 metristä 0,075 metriin. Ulkoseinän lämmönläpäisykerroin parantui arvoon 0,11 W/(m<sup>2</sup>K). Yläpohjan lämmönläpäisykerrointa parannettiin arvosta 0,09 W/(m<sup>2</sup>K) arvoon 0,08 W/(m<sup>2</sup>K). Tämä saatiin aikaan kasvattamalla puhalletun mineraalivillakerroksen paksuutta arvosta 300 mm arvoon 350 mm. Muuten yläpohjien rakenteet ovat samanlaiset. Ulkoseinän ja yläpohjan rakenteet sekä niiden väliset liitokset on esitetty kuvassa 3.5.



*Kuva 3.5. Ulkoseinän ja yläpohjan rakenne sähköllä lämmitetyllä rakennuksella.*

Ikkunoiden lämmönläpäisykerroin parannettiin arvoon 0,72 W/(m<sup>2</sup>K). Ikkunoiden karmien lämmönläpäisykertoimenä käytetään samaa arvoa kuin ikkunoissakin, eli 0,72 W/(m<sup>2</sup>K). Ovien lämmönläpäisykerroin parannettiin puolestaan arvoon 0,66 W/(m<sup>2</sup>K). Viivamaisen lisäkonduktanssin arvoina käytetään samoja arvoja kuin kaukolämmitetyllä rakennuksellakin. Rakennusvaipan ilmatiiviyyttä parannettiin niin, että uusi vaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  on 0,5 m<sup>3</sup>/(hm<sup>3</sup>), kun se kaukolämmitetyllä ratkaisulla oli 2,0 m<sup>3</sup>/(hm<sup>3</sup>).

Sähkölämmitteisessä rakennuksessa päälämmönjakojärjestelmänä toimivat huonekohtaiset sähköpatterit. Niiden lämmönjaon ja -luovutuksen hyötysuhde on 0,95. Lisäksi sähkölämmitteisessä rakennuksessa on täydentävinä lisälämmitysjärjestelminä varaava tulisija sekä ilma-ilmalämpöpumppu. Kumpikin toimii erillisenä lämmitysjärjestelmänä. Varaavasta tulisijasta hyödynnetään vuodessa 2000 kWh lämpöenergiaa.

Ilma-ilmalämpöpumpusta vastaavasti hyödynnetään 1000 kWh lämpöenergiaa vuodessa. Varaavan tulisijan hyötysuhde on RakMK:n osan D3 (2012) mukainen 0,6. Ilma-ilmalämpöpumpun lämpökertoimenä käytetään RakMK:n osan D5 (2012) mukaista arvoa 2,8.

Osa lämpimän käyttöveden lämmitystarpeesta katetaan aurinkokeräimien tuottamalla lämpöenergialla. Aurinkokeräimet asennettiin talon eteläpuoleiselle katon lappeelle. Keräimien kokonaisala oli 12 m<sup>2</sup>. Sähköllä lämmitetyssä talossa käytössä on 300 litran lämpimän käyttöveden varaaja. Kaukolämmitetyssä talossa varaajaa ei ole.

Lämmitysenergian tuoton hyötysuhteen  $\eta_{\text{tuotto}}$  arvo on RakMK:n osan D5 (2012) mukaisesti 1,00. Kyseessä on huonekohtainen sähkölämmitys. Tätä hyötysuhdetta käytetään tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä. Sähköllä lämmitetyssä rakennuksessa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta on korotettu arvoon 73 %.

## 3.2 Lämpökuormat

Lämpökuormia syntyy rakennuksen sisällä ihmisistä, kuluttajalaitteista sekä valaistuksesta. Suomen Rakentamismääräyskokoelman osasta D3 (2012) otetussa taulukossa 3.3 on esitetty energialaskennassa käytettävät arvot lämpökuormille. Lämpökuormat kerrotaan käyttöasteella. Kuluttajalaitteille ja ihmisille käyttöaste on 0,6. Valaistuksen käyttöasteena käytetään arvoa 0,1. Valmiit lasketut huonekohtaiset lämpökuormat on esitetty taulukossa 3.4.

**Taulukko 3.3. Energialaskennassa käytettävät sisäiset lämpökuormat lämmitettyä nettoalaa kohti (RakMK D3 2012).**

Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika <sup>d</sup>	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus W/m <sup>2</sup>	Kuluttajalaitteet W/m <sup>2</sup>	Ihmiset <sup>a</sup> W/m <sup>2</sup>
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	0,6	8 <sup>b,c</sup>	3	2
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	0,6	11 <sup>b,c</sup>	4	3
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	12 <sup>c</sup>	12	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19 <sup>c</sup>	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14 <sup>c</sup>	4	4
Opetusrakennus ja päiväkot	08:00-16:00	8	5	0,6	18 <sup>c</sup>	8	14
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	12 <sup>c</sup>	0	5
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	9 <sup>c</sup>	9	8

a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6

b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1

c ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erilliselvyys kohtien 3.3.3 ja 3.3.4 mukaisesti.

d ilmanvaihdon käyntiaika kohdan 3.3.7 mukaisesti

Asuinrakennusta käytetään taulukon 3.3 mukaan siis 24 tuntia vuorokaudessa viikon jokaisena päivänä. Taulukossa on ihmisten lämpökuormaksi ilmoitettu 2 W/m<sup>2</sup>. Ihmisistä aiheutuva lämpökuorma voidaan laskea myös henkilötiheyden kautta. Henkilötiheytenä käytetään erillisissä pientaloissa sekä rivi- ja ketjutaloissa D3:n (2012) mukaisesti

arvoa 1 hlö/43 m<sup>2</sup>. Yhden henkilön kokonaislämmönluovutuksena käytetään silloin arvoa 125 W. Tämä ihmisen kokonaislämmönluovutus vastaa kehon pinta-alaa 1,8 m<sup>2</sup>, kun aineenvaihdunnan tehona on 1,2 met. Milla Heikkilän opinnäytetyön, Opas MET-arvojen käytöstä (2009), mukaan yksikkö met tulee lyhenteenä sanoista metabolic equivalent, ja se tunnetaan suomessa metabolisena ekvivalenttina ja lepoaineenvaihdunnan kerrannaisena. Met-arvo ilmoittaa fyysisen suorituksen rasittavuuden. 1 met vastaa istuvan ihmisen toimintaa ja 1,2 met vastaa seisomista.

Tutkitussa rakennuksessa asui oletettavasti viisi asukasta, joten todellinen henkilötiheys olisi 5 hlö/138,6 m<sup>2</sup> = 1 hlö/27,72 m<sup>2</sup>. Laskuissa käytettävä henkilötiheys 1 hlö/43 m<sup>2</sup> olisi siis pienempi kuin todellinen henkilötiheys. Tämä laskee lämpökuormaa, minkä seurauksena lämmitystarve nousee ja jäähdytystarve laskee.

Tilastokeskuksen Asunnot ja asuinolot 2014 -tilaston mukaan Pirkanmaalla henkilötiheys 31.12.2014 oli 1 hlö/39,6 m<sup>2</sup>, kun kaiken tyyppiset asunnot on otettu huomioon. Kaikista tihintä asuminen oli Uudellamaalla, jossa asumistiheys oli 1 hlö/36,7 m<sup>2</sup>. Koko Suomen keskiarvo oli 1 hlö/39,9 m<sup>2</sup>. Kovin kauaksi RakMK:n osan D3 (2012) mukainen asumistiheys pientaloille 1 hlö/43 m<sup>2</sup> ei jää. Erillisen pientalon keskiarvoinen pinta-ala koko Suomessa vuonna 2014 oli Tilastokeskuksen mukaan 110,8 m<sup>2</sup>. Vuonna 1970 pientalojen pinta-alan keskiarvo oli 66,0 m<sup>2</sup>. Kaikkien asuinhuoneistojen keskiarvoinen pinta-ala vuonna 2014 oli 80,0 m<sup>2</sup>, kun vuonna 1970 vastaava pinta-ala oli 60,0 m<sup>2</sup>. Asumistiheys vuonna 1970 oli kaikki talotyyppit huomioiden 1 hlö/18,9 m<sup>2</sup>. Asumistiheys on puolittunut vuodesta 1970 vuoteen 2014.

Seuraavassa taulukossa on esitetty rakennuksen huonekohtaiset lämpökuormat valaistuksesta ja kuluttajalaitteista. Taulukon arvoissa on huomioitu käyttöasteet. Lisäksi taulukossa on esitetty laskennassa käytettävä ihmisten määrä jokaisessa huoneessa. Näitä huonekohtaisia arvoja käytetään IDA-ICE-laskennassa.

*Taulukko 3.4. Tutkitavan rakennuksen tilakohtaiset lämpökuormat kuluttajalaitteista ja valaistuksesta sekä ihmisten lukumäärät.*

Huone	Ala [m <sup>2</sup> ]	Valaistus [W]	Kuluttajalaitteet [W]	Ihmisten määrä huoneessa	Ihmisten määrä huoneessa * käyttöaste (0,6)
Makuuhuone 1	14,38	11,5	25,88	0,33	0,2
Makuuhuone 2	8,79	7,03	15,81	0,2	0,12
Makuuhuone 3	10,52	8,42	18,94	0,24	0,15
Makuuhuone 4	10,54	8,43	18,97	0,25	0,15
Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone	62,42	49,94	112,36	1,45	0,87
Tuulikaappi	3,7	2,96	6,67	0,09	0,05
WC 1	2,49	1,99	4,48	0,06	0,03
WC 2	2,89	2,31	5,2	0,07	0,04
Kodinhuone	8,12	6,5	14,62	0,19	0,11
Pesuhuone	4,07	3,25	7,32	0,09	0,06
Sauna	3,67	2,94	6,61	0,09	0,05
Tekninen tila	2,19	1,75	3,93	0,05	0,03
<b>Yhteensä</b>	<b>133,78</b>	<b>107</b>	<b>240,8</b>	<b>3,11</b>	<b>1,87</b>

Lämpökuormat ja ihmisten lukumäärät on huonekohtaisesti laskettu pinta-alojen mukaan. Jokaisen huoneen henkilötiheys on yhtä suuri. Laskennassa käytetään käyttöasteella kerrottuja arvoja.

### 3.3 Lämmin käyttövesi

Lämpimän käyttöveden lämpötilana käytetään RakMK:n osan D3 (2012) mukaisesti 55 °C. Kylmälle vedelle käytetään lämpötilaa 5 °C. Erilliselle pientalolle, rivi- ja ketjutalolle sekä asuinkerrostalolle lämpimän käyttöveden ominaiskulutukselle on ilmoitettu arvoksi 600 dm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>a). Sitä vastaava lämmitysenergia on suuruudeltaan 35 kWh/(m<sup>2</sup>a). Näitä arvoja käytetään, kun tutkitaan rakennuksen energiatehokkuutta koskevien määräysten vaatimuksenmukaisuutta. Tässä tutkimuksessa tulee käyttää arvoa 600 dm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>a). Muun tyyppisissä tarkasteluissa voidaan käyttää myös henkilöperustaisia lämpimän käyttöveden ominaiskulutuksia. RakMK:n osan D5 (2012) mukaisesti henkilöperustaisena arvona käytetään 50 dm<sup>3</sup>/henkilö vuorokaudessa, jos asuinrakennuksessa on huoneistokohtainen mittaus ja laskutus. Jos huoneistokohtaista mittausta ja laskutusta ei ole, voidaan käyttää arvoa 60 dm<sup>3</sup>/henkilö vuorokaudessa. Asuntoa kohden erillisillä pientaloilla sekä rivi- ja ketjutaloilla käytetään kuitenkin enintään lämpimän käyttöveden kulutuksena 72 400 dm<sup>3</sup> vuodessa tai lämmitysenergiana 4200 kWh vuodessa. Nämä tulevat tutkittavan rakennuksen tapauksessa rajoittavaksi tekijäksi, joten käytetään tässä laskennassa arvoa 4200 kWh lämpimän käyttöveden lämmitysenergialle vuodessa.

Sähkölämmitysratkaisussa käytössä on 300 litran lämpimän käyttöveden varaaja. RakMK:n osan D5 (2012) mukaisesti 300 litran varaajan lämpöhäviö  $Q_{\text{lkv, varastointi}}$  on 100 mm eristeen kanssa 650 kWh/a. Kaukolämmityssä rakennuksessa ei erillistä varaajaa tarvita. Kummassakin ratkaisussa on lämpimän veden kierto. Tällöin lämpimän veden odotusaika saadaan pieneksi. Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon ei ole kytkettynä lämmityslaitteita. Rakennuksessa käytetään kiertovesipumppua, jonka ottoteho on 71 W.

Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnista syntyy lämpöhäviöitä. RakMK:n osan D3 (2012) mukaan 50 % näistä lämpöhäviöistä tulee rakennukseen lämpökuormaksi. Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho on D5:n (2012) mukaisesti 40 W/m, kun yksityiskohtaisia laskelmia ei suoriteta tai kiertojohtoon eristystasosta ei ole tietoa, joten käytetään tätä arvoa. Kiertojohtoon pituus saadaan laskettua, kun kiertojohtoon ominaispituus 0,043 m/m<sup>2</sup> kerrotaan rakennuksen lämmitetyllä nettoalalla 138,6 m<sup>2</sup>. Pumpun käyttöaikana käytetään arvoa 24 h/vrk. Kaukolämmityksessä rakennuksessa lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviöksi saadaan 1,7316 W/m<sup>2</sup>. Sähkölämmitteiselle rakennukselle lisätään lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviöön vielä varaajasta aiheutuva lämpöhäviö. Näiden summa on 2,267 W/m<sup>2</sup>. Näistä puolet siirtyy rakennuksen lämpökuormaksi.

Sähkölämmitteisessä pientalossa on katolla aurinkokeräimiä 12 m<sup>2</sup>. Näillä hoidetaan osa lämpimän käyttöveden lämmitystarpeesta.

### 3.4 Ilmastointi

Kokonaistulo- ja kokonaispoistoilmavirtojen suuruuksien pitää RakMK:n osan D3 vuoden 2012 version mukaan olla laskennassa yhtä suuria keskenään. Molemmat ovat arvoltaan  $0,4 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2)$  erilliselle pientalolle sekä rivi- ja ketjutalolle. Tämä luku on annettu lämmitettyä nettoalaa kohden.

IDA-ICE-laskennassa kaikkiin huoneisiin ei aseteta tuloilmavirtaa sekä poistoilmavirtaa. Tuloilmavirrat ovat tutkittavassa rakennuksessa makuuhuoneissa ja suuressa tilassa, johon kuuluvat olohuone, eteinen, keittiö ja ruokailuhuone. Tässä suuressa tilassa on myös poistoilma. Poistoilma on lisäksi kodinhoitohuoneessa, pesuhuoneessa, saunassa sekä molemmassa WC:ssä. Koska ilmavirrat on D3:ssa (2012) annettu koko lämmitettyä nettoalaa kohden, niin IDA-ICE-laskentaa varten on laskettu rakennukseen tuleva ja poistuva kokonaisilmavirta nettoalan ja ilmavirran tulona. Tuloilmavirralla varustetuille huoneille on laskettu tuloilmavirrat niin, että kokonaistuloilmavirta vastaa aiemmin laskettua arvoa. Sama laskenta on suoritettu poistoilmalle. Tuloilmalla varustetuille huoneille on saatu tuloilmavirran arvoksi  $0,520 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2)$ . Poistoilmalle on saatu arvo  $0,663 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2)$ .

Ilmastointikone on RakMK:n osan D3 (2012) mukaisesti jatkuvasti päällä, sillä asuintalon käyttöaika on 24 tuntia vuorokaudessa ja 7 päivää viikossa. Tuloilman sisäänpuhalluslämpötilana käytetään RakMK:n osan D5 (2012) mukaista ohjearvoa  $18^\circ\text{C}$ . Puhaltimessa tapahtuvan lämpötilan nousun suuruutena käytetään arvoa  $0,5^\circ\text{C}$ .

Kaukolämmityssä rakennuksessa ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena on 45 %. Sähköllä lämmitetyssä rakennuksessa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta on parannettu arvoon 73 %.

### 3.5 Säättiedot

Tutkittava rakennus sijaitsee Tampereella, joka kuuluu säävyöhykkeeseen II. Suomi on jaettu neljään eri säävyöhykkeeseen. Vyöhykkeillä I ja II käytetään energiankulutuksen laskennassa RakMK:n osan D3 (2012) mukaisesti Helsinki-Vantaan lentokentällä mitattuja ulkoilman lämpötiloja ja auringon säteilyenergioita. Tämä tehdään siksi, että vyöhykkeiden I ja II keskilämpötilojen erot ovat pieniä. Käsinlaskennassa käytettävät säättiedot löytyvät RakMK:n osan D3 (2012) liitteestä 2.

Vuonna 2011 kehitettiin nykyistä ilmastoa vastaava uusi testivuosi TRY2012. Tätä testivuotta on tarkoitus käyttää rakennusten lämmitys- ja jäähdytysenergiälaskennoissa. Lisäksi kehitettiin testivuodet TRY2030, TRY2050 ja TRY2100. Nämä testivuodet on kehitetty muokkaamalla testivuoden TRY2012 säättietoja niin, että on otettu huomioon odotettavissa oleva ilmastomuutoksen vaikutus Suomessa seuraavan 100 vuoden aikana. Testivuodet löytyvät Ilmatieteen laitoksen internet-sivuilta. Näitä testivuosia käytettiin tässä diplomityössä IDA-ICE-laskennan säättietoina. Tutkimuksessa simulointi suoritettiin vuoden 2012 säättietojen lisäksi vuosien 2030, 2050 ja 2100 säättiedoilla. Säättiedot on määritetty tunneittain jokaiselle testivuodelle.



Vertaillaan tulevaisuuden testivuotia. Kuukausittaiset ulkoilman keskilämpötilat, ilman suhteelliset kosteudet, tuulen suunnat, tuulen nopeudet, auringon suora säteily ja auringon hajasäteily on esitetty taulukoissa 3.5, 3.6, 3.7 ja 3.8. Nämä taulukot ovat kuukausittaisia keskiarvoja säävyöhykkeille I ja II. Taulukkojen tiedot ovat Ilmatieteen laitoksen testivuosien mukaiset ja ne on otettu IDA-ICE:n kautta testivuosien säätiedostoista. Seuraavassa taulukossa on esitetty TRY2012-testivuoden säätiedot.

*Taulukko 3.5. Säävyöhykkeiden I ja II Vantaan säätiedoilla määritetyn TRY2012-testivuoden kuukausittaiset keskiarvot ulkoilman kuivalämpötiloista, suhteellisesta kosteudesta, tuulesta, suorasta auringon säteilystä sekä hajasäteilystä.*

TRY2012	Muuttujat					
	Kuivalämpötila, Deg-C	Ilman suhteellinen kosteus, %	Tuulen suunta, Deg	Meteorologinen tuulen nopeus, m/s	Suora säteily (normaalin suuntainen), W/m2	Hajasäteily vaakasuoralle pinnalle, W/m2
Tammikuu	-4.0	88.5	195.2	4.3	9.4	7.2
Helmikuu	-4.5	82.8	189.6	4.6	42.4	23.7
Maaliskuu	-2.6	81.7	206.8	4.1	96.7	50.0
Huhtikuu	4.5	67.2	203.0	4.3	198.7	71.6
Toukokuu	10.8	63.0	179.5	4.1	263.2	81.6
Kesäkuu	14.2	71.7	220.7	4.0	246.1	98.6
Heinäkuu	17.3	69.0	202.1	3.9	286.8	89.0
Elokuu	16.1	76.1	231.1	4.2	185.1	77.8
Syyskuu	10.5	79.0	225.0	3.9	157.8	51.1
Lokakuu	6.2	91.0	171.6	4.1	34.9	25.2
Marraskuu	0.5	89.2	210.4	4.0	14.1	9.3
Joulukuu	-2.2	87.0	202.4	4.4	10.6	4.8
keskiarvo	5.6	78.8	203.1	4.1	129.3	49.3
keskiarvo*8759.0 h	49321.4	690490.5	1779000.0	36284.5	1132103.3	431493.2
min	-4.5	63.0	171.6	3.9	9.4	4.8
maks	17.3	91.0	231.1	4.6	286.8	98.6

Vuoden 2012 testivuoden keskilämpötila on 5,6 °C. Keskiarvoltaan lämpimin kuukausi on heinäkuu kuten kaikissa muissakin testivuosissa. Kylmin kuukausi on helmikuu -4,5 °C keskiarvoltaan. Seuraavassa taulukossa on esitetty TRY2030-testivuoden säätietojen kuukausittaiset keskiarvot.

**Taulukko 3.6. Säävyöhykkeiden I ja II Vantaan säätiedoilla määritetyn tulevaisuuden TRY2030-testivuoden kuukausittaiset keskiarvot ulkoilman kuivalämpötiloista, suhteellisesta kosteudesta, tuulesta, suorasta auringon säteilystä sekä hajasäteilystä.**

TRY2030	Muuttujat					
	Kuivalämpötila, Deg-C	Ilman suhteellinen kosteus, %	Tuulen suunta, Deg	Meteorologinen tuulen nopeus, m/s	Suora säteily (normaalin suuntainen), W/m2	Hajasäteily vaakasuoralle pinnalle, W/m2
Tammikuu	-2.2	89.5	196.2	4.3	8.0	7.0
Helmikuu	-2.9	83.6	203.3	4.6	37.1	23.1
Maaliskuu	-1.3	82.2	200.8	4.1	93.2	49.9
Huhtikuu	5.7	68.0	204.6	4.3	190.9	71.1
Toukokuu	11.7	62.2	182.9	4.1	264.8	81.6
Kesäkuu	15.1	70.8	222.9	4.0	250.6	98.6
Heinäkuu	18.1	69.0	204.2	3.9	291.2	89.0
Elokuu	16.9	76.1	232.0	4.2	184.0	77.8
Syyskuu	11.4	78.6	233.3	3.9	164.0	51.1
Lokakuu	7.1	91.1	176.3	4.1	36.3	25.2
Marraskuu	1.8	89.5	212.4	4.0	12.8	9.2
Joulukuu	-0.5	88.1	203.3	4.4	9.1	4.6
keskiarvo	6.8	79.0	205.9	4.1	129.0	49.1
keskiarvo*8759.0 h	59609.1	692314.3	1803451.4	36284.7	1129744.1	430464.7
min	-2.9	62.2	176.3	3.9	8.0	4.6
maks	18.1	91.1	233.3	4.6	291.2	98.6

Testivuoden 2030 lämpötilan keskiarvo on noussut 1,4 °C arvoon 6,8 °C, kun verrataan TRY2012-säätieloihin. Muut vuosittaiset keskiarvot eivät ole juuri muuttuneet. Talvi-kuukausista tammikuun keskilämpötila on noussut eniten eli 1,8 °C. Helmikuu on kylmin kuukausi keskilämpötilallaan -2,9 °C. Kaikkien kuukausien keskilämpötilat ovat nousseet.

**Taulukko 3.7. Säävyöhykkeiden I ja II Vantaan säätiedoilla määritetyn tulevaisuuden TRY2050-testivuoden kuukausittaiset keskiarvot ulkoilman kuivalämpötiloista, suhteellisesta kosteudesta, tuulesta, suorasta auringon säteilystä sekä hajasäteilystä.**

TRY2050	Muuttujat					
	Kuivalämpötila, Deg-C	Ilman suhteellinen kosteus, %	Tuulen suunta, Deg	Meteorologinen tuulen nopeus, m/s	Suora säteily (normaalin suuntainen), W/m2	Hajasäteily vaakasuoralle pinnalle, W/m2
Tammikuu	-0.9	90.5	197.0	4.3	7.0	6.7
Helmikuu	-1.4	85.1	203.3	4.6	34.1	22.6
Maaliskuu	-0.1	82.9	200.8	4.1	86.3	49.2
Huhtikuu	6.4	68.0	204.7	4.3	188.6	71.0
Toukokuu	12.4	62.2	183.0	4.1	261.5	81.6
Kesäkuu	15.7	71.7	222.8	4.0	249.3	98.6
Heinäkuu	18.8	68.4	204.1	3.9	287.6	89.0
Elokuu	17.6	75.6	232.6	4.2	185.2	77.8
Syyskuu	12.2	78.4	233.1	3.9	162.8	51.1
Lokakuu	7.9	91.3	177.1	4.1	36.6	25.2
Marraskuu	2.8	90.4	212.0	4.0	11.5	9.0
Joulukuu	0.7	89.0	204.6	4.4	8.3	4.5
keskiarvo	7.7	79.4	206.2	4.1	127.0	49.0
keskiarvo*8759.0 h	67752.5	695775.2	1805713.2	36285.0	1112673.1	429072.6
min	-1.4	62.2	177.1	3.9	7.0	4.5
maks	18.8	91.3	233.1	4.6	287.6	98.6

Vuoden 2050 testivuoden säätiedoissa vuoden keskilämpötila on noussut 0,9 °C arvoon 7,7 °C, kun verrataan testivuoteen 2030. Kaikkien kuukausien keskilämpötilat ovat nousseet. Helmikuu on edelleen kylmin kuukausi keskiarvolämpötilallaan -1,4 °C. Lämpimin kuukausi on heinäkuu, jonka keskiarvolämpötila on 18,8 °C. Muut vuosittaiset keskiarvot eivät ole juurikaan muuttuneet. Auringon säteily on tosin hieman laskeutunut.

**Taulukko 3.8. Säävyöhykkeiden I ja II Vantaan säätiedoilla määritetyn tulevaisuuden TRY2100-testivuoden kuukausittaiset keskiarvot ulkoilman kuivalämpötiloista, suhteellisesta kosteudesta, tuulesta, suorasta auringon säteilystä sekä hajasäteilyä.**

TRY2100	Muuttujat					
	Kuivalämpötila, Deg-C	Ilman suhteellinen kosteus, %	Tuulen suunta, Deg	Meteorologinen tuulen nopeus, m/s	Suora säteily (normaalin suuntainen), W/m2	Hajasäteily vaakasuoralle pinnalle, W/m2
Tammikuu	0.1	94.1	209.0	3.7	1.2	5.5
Helmikuu	0.3	96.0	225.3	2.6	33.9	17.1
Maaliskuu	2.4	90.2	184.6	3.2	45.4	43.9
Huhtikuu	7.1	76.6	172.6	2.8	127.6	69.9
Toukokuu	12.9	63.7	245.6	3.0	257.2	91.3
Kesäkuu	17.0	65.1	199.3	3.1	202.7	109.2
Heinäkuu	19.0	73.6	205.2	2.4	224.5	90.8
Elokuu	17.2	80.1	195.6	2.3	161.0	76.4
Syyskuu	13.0	82.5	234.2	3.4	147.1	46.8
Lokakuu	8.4	89.4	195.5	2.9	43.0	20.6
Marraskuu	4.1	97.4	211.3	3.3	5.6	7.4
Joulukuu	1.7	94.7	218.9	3.1	0.7	3.1
keskiarvo	8.7	83.6	208.0	3.0	104.6	48.6
keskiarvo*8759.0 h	75834.9	731844.3	1821890.4	26164.9	915905.0	426072.8
min	0.1	63.7	172.6	2.3	0.7	3.1
maks	19.0	97.4	245.6	3.7	257.2	109.2

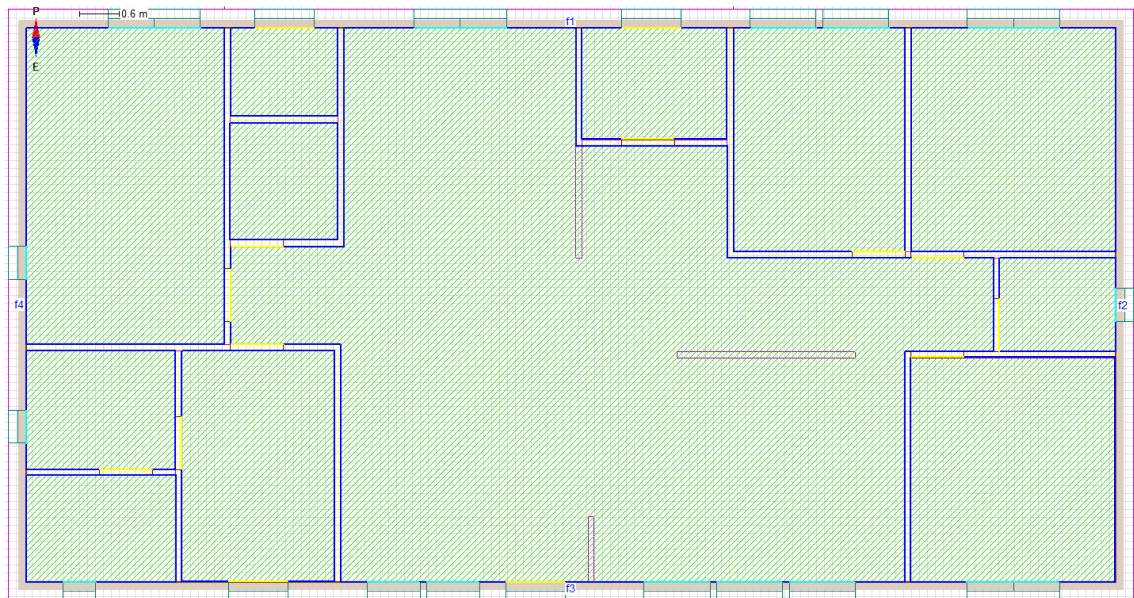
Vuoden 2100 säätiedoissa kaikki kuukausittaiset keskiarvolämpötilat ovat yli 0 °C. Tammikuu on kylmin kuukausi testivuosista ainoana helmikuun sijasta. Kesäkuukausista kesäkuun keskilämpötila nousee eniten TRY2050-testivuoteen verrattaessa, eli 1,3 °C. Talvikuukausista maaliskuun keskilämpötila nousee 2,5 °C. Ainoa kuukausi, jonka keskilämpötila laskee, on elokuu 0,4 °C:een laskullaan. TRY2100:n tiedoista nähdään, että suora normaalin suuntainen auringonsäteily pienenee vuoteen 2100 mentäessä. Suoran säteilyn keskiarvo on 18 % pienempi kuin testivuonna 2050 ja 19 % pienempi kuin testivuonna 2012. Heinäkuun suoran säteilyn keskiarvo on 22 % pienempi kuin vuosina 2050 ja 2012. Myös meteorologinen tuulen nopeus pienenee. Hajasäteily vaakasuoralle pinnalle pienenee talvella, mutta suurenee kesällä. Ilman suhteellinen kosteus on kaikkien aiempien testivuosien keskiarvoissa noin 79 %. TRY2100 tiedoissa ilman suhteellisen kosteuden keskiarvo on suurempi eli 83,6 %.

### 3.6 IDA-ICE-laskennan erityispiirteitä

IDA Indoor Climate and Energy eli IDA-ICE on Ruotsalaisen Equa Simulations AB:n kehittämä simulointiohjelma. Sillä voidaan suorittaa laskentaa esimerkiksi rakennusten

energiankulutukseen, lämpötiloihin, valaistukseen ja sisäilman laatuun liittyen. Ohjelmalla voi suorittaa haluamansa mittaisia simulointijaksoja haluamallaan säätiedostoilla. Ohjelma ottaa auringon sijainnin ja liikkeen rakennuksen suhteen huomioon.

Pientalon pohjapiirustus piirrettiin AutoCAD 2013 -ohjelmalla. Piirustukseen on merkitty tarkat ikkunoiden ja ovien paikat. Väliseinätkin on piirretty oikean paksuisina. Pohjapiirustus syötettiin IDA-ICE-ohjelmaan, jossa huoneiden reunaviivat rajattiin ja huoneet nimettiin. Rajatut huoneet ovat tällöin omia vyöhykkeitään, joista jokaiselle voi antaa omat asetuksensa. Kaikki rakenteet kirjattiin ohjelmaan oikeanlaisiksi. Ulkoseinistä, väliseinistä, yläpohjasta ja alapohjasta tehtiin samanlaiset kuin suunnitelmissa. Rakenteiden paksuus ja U-arvo täsmäävät laskettuihin ja piirrettyihin rakenneratkaisuihin. IDA-ICE:ssa käytetty pohjapiirustus näkyy kuvassa 3.6. Huoneet on rajattu sinisillä linjoilla. Ovet ovat väriltään keltaisia ja ikkunat turkooseja.



Kuva 3.6. Tutkittavan rakennuksen pohjapiirustus IDA-ICE:ssa. Vyöhykkeiden rajaukset näkyvät sinisellä kuvassa.

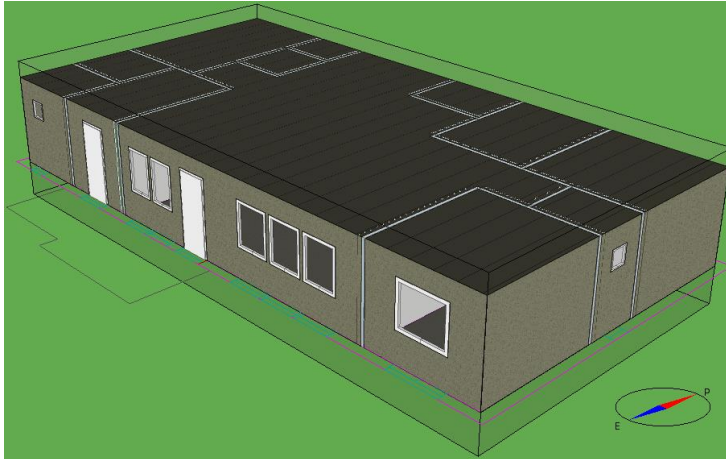
IDA-ICE-ohjelmaan syötettiin myös lämpökuormat kuluttajalaitteista, valaistuksesta ja ihmisistä. Ihmisistä aiheutuva lämpökuorma syötettiin huonekohtaisesti henkilöiden lukumääränä. Nämä ihmisten lukumäärät sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen lämpökuormat on esitetty taulukossa 3.4.

Laitteille määritetään energianlähteet ja energiamittarit. Näin saadaan energiankulutukset mitattua energialähteittäin ja käyttötarkoituksittain. Kaikki aiemmissa kappaleissa esitetyt lähtöarvot on sijoitettu IDA-ICE-laskentaan, vaikka niitä ei erikseen tässä kappaleessa mainittaisi.

IDA-ICE:ssa käytetään säätietoja, jotka on ilmoitettu tunneittain. Näissä säätiedostoissa on ilmoitettu lämpötilat, ilmankosteudet, auringonsäteilyt sekä tuulen suunnat

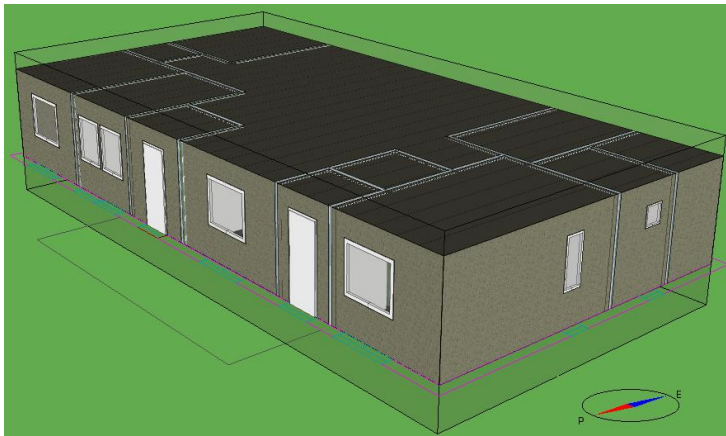
ja -nopeudet. Säätieloina käytetään testivuotia TRY2012, TRY2030, TRY2050 ja TRY2100. Nämä testivuodet löytyvät Ilmatieteen laitoksen internet-sivuilta.

Rakennus on esitetty 3-ulotteisena kuvissa 3.7 ja 3.8. Kuten kuvista nähdään, vesikattoa ei ole mallinnettu ohjelmaan. Ulkoseinät ja yläpohja on yhdistetty ulkoilmaan. Alapohjarakenne on yhdistetty maahan.



*Kuva 3.7. Tutkittava rakennus kolmiulotteisena IDA-ICE:ssä niin, että rakennuksen eteläinen ja itäinen julkisivu näkyvät.*

Kolmiulotteisista kuvista huomaa sen, että julkisivukohtaisissa ikkunapinta-aloissa ei ole paljoa eroa etelän ja pohjoisen välillä. Itäisellä ja läntisellä julkisivulla ei ole kovin paljon ikkunapinta-alaa. Itäisellä julkisivulla ei ole kuin yksi pieni ikkuna.



*Kuva 3.8. Tutkittava rakennus kolmiulotteisena IDA-ICE:ssä niin, että rakennuksen pohjoinen ja läntinen julkisivu näkyvät.*

Simuloinnit on suoritettu koko vuoden pituiselle ajanjaksolle. Laskentamallina tässä diplomityössä on käytetty energiamallia. Myös ilmastomalli on IDA-ICE:ssä käytettävissä. Normaaliin energiankulutuslaskentaan energiamalli riittää hyvin. IDA-ICE:n käyttöohjeen mukaan ilmastomalli luo hyvin yksityiskohtaisen fysikaalisen mallin rakennuksesta ja sen ominaisuuksista. Ilmastomallissa on esimerkiksi mahdollisuus luoda

tarkempi malli lämpötilan muutoksista eri korkeustasoilla. Energiamalli on yksinkertaisempi. Simulaation kesto aika on energiamallilla huomattavasti ilmastomallia lyhyempi. Ilmastomallia käytettäessä vyöhykkeiden tulee olla suorakulmaisia.

Henkilötiheytenä ihmisille on käytetty arvoa 1 hlö/43 m<sup>2</sup>. Tämä on suhteutettu huoneen alaan. Henkilötiheys on kerrottu käyttöasteella 0,6. Henkilöt on IDA-ICE:ssa valittu olevaksi aina paikalla. Aktiviteettitasona on RakMK:n osan D3 (2012) mukaisesti käytetty met-asteikolla arvoa 1,2 met, joka vastaa ihmisen seisomista. Vaatetuksena on käytetty vakiovaatetusta. Vaihtoehtoisesti vaatetuksen määrän olisi voinut säätää aikataulunkin mukaan. Vaatetuskertoimena on käytetty clo-kertoimen arvoa 0,75 ± 0,25. Näiden rajojen sisällä ihminen säätää vaatetustaan olosuhteiden mukaan. Clo-kerroin 0,72 vastaa IDA-ICE:ssa pitkähihaista haalaria ja t-paitaa. Clo-kerroin 1,01 vastaa pitkiä housuja, pitkähihaista paitaa, pitkähihaista villapaitaa ja t-paitaa. Clo-kertoimen arvo 0,54 vastaa polveen ulottuvaa hametta, lyhythihaista paitaa, alushousuja ja sandaaleja. Lisää vaatetuskertoimia on esitetty IDA-ICE:sta otetussa taulukossa 3.9.

*Taulukko 3.9. IDA-ICE:ssa käytettäviä vaatetuskertoimien arvoja (IDA-ICE, HTML Help 2013).*

<i>Clothing</i>	<i>Clo</i>
Shorts, short-sleeve shirt	0.36
Trousers, short-sleeve shirt	0.57
Trousers, long-sleeve shirt	0.61
Same as above, plus suit jacket	0.96
Same as above, plus vest and T-shirt	1.14
Trousers, long-sleeve shirt, long-sleeve sweater, T-shirt	1.01
Same as above, plus suit jacket and long underwear bottoms	1.30
Sweat pants, sweat shirt	0.74
Knee-length skirt, short-sleeve shirt, panty hose, sandals	0.54
Knee-length skirt, long-sleeve shirt, full slip, panty hose	0.67
Knee-length skirt, long-sleeve shirt, half slip, panty hose, long-sleeve sweater	1.10
Same as above, replace sweater with suit jacket	1.04
Ankle-length skirt, long-sleeve shirt, suit jacket, panty hose	1.10
Long-sleeve coveralls, T-shirt	0.72
Overalls, long-sleeve shirt, T-shirt	0.89
Insulated coveralls, long-sleeve thermal underwear, long underwear bottoms	1.37



Vaatetuksen määrä vaikuttaa ihmisen kokemaan mukavuuteen sisätilassa. IDA-ICE:n laskemat tuntien osuudet, jolloin asukkaat ovat tyytymättömiä lämpöoloihin perustuvat Povl Ole Fangerin lähes 50 vuotta vanhoihin teorioihin. Lisäksi vaatetus vaikuttaa hie-  
man lämpötehoon, jota ihminen luovuttaa. 1 clo vastaa IDA-ICE:n käyttöohjeen mu-  
kaan lämmönvastusta, joka on suuruudeltaan  $0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Kuluttajalaitteiden lämpökuorma on määritetty niin, että jokaisessa huoneessa on yksi kuluttajalaitte, jonka lämmönluovutus on RakMK:n osan D3 (2012) mukainen. Lämpökuorma on kerrottu käyttöasteella 0,6. Kuluttajalaitte on asetettu niin, että se on aina päällä.

Valaistuksen osalta joka huoneessa on yksi valaisin. Valaisin on aina päällä ja lämmönluovutuksen osuus on 100 %. Lämpökuorma on laskettu huonekohtaisesti D3:n (2012) ohjeiden mukaan.

Ikkunoille on käytetty kehäkerrointa 0,75. Neljäsosa ikkunan alasta on siis kar-  
mia. Karmin lämmönläpäisykerroin on sama kuin ikkunallakin. Ikkunan lämmönlä-  
päisykerroin on arvoltaan kaukolämmitysratkaisulle  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ja sähkölämmitysrat-  
kaisulle  $0,72 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Ovien lämmönläpäisykerroin on arvoltaan kaukolämmitysrat-  
kaisulle  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ja sähkölämmitysratkaisulle  $0,66 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Väliovet ovat raken-  
nuksessa aina suljettuja. Näille kiinni oleville välioville on mitoitettu vuotoalaa  $0,01 \text{ m}^2$ .  
Tämä tarkoittaa 1,7 mm:n rakoa oven joka sivulla, kun väliovi on korkeudeltaan 2,1  
metriä ja leveydeltään 0,8 metriä.

Kylmäsillat ovat yhtä suuret kaikilla muilla tutkittavilla tapauksilla, paitsi A-  
energiatohokkuusluokan mukaisilla asetuksilla varustetulla talolla. Viivamaisen kyl-  
mäsillan aiheuttamat lisäkonduktanssit on esitetty kappaleessa 3.1.

### 3.6.1 IDA-ICE:n lähtöarvot kaukolämmitysratkaisulle

Suomen Rakentamismääräyskokoelman vuoden 2012 osan D3 mukaan koneellisen tulo-  
ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään  $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . Koneelli-  
sen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään  $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . Koneelli-  
selle tuloilmajärjestelmälle käytetään arvoa  $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$  ja poistoilmajärjestelmälle  
arvoa  $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . Ilmanvaihdossa poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde  
on 45 %.

Lämpimän käyttöveden kierrosta syntyvälle lämpöhäviölle käytetään IDA-  
ICE:ssa yksikköä  $\text{W}/\text{m}^2$ . Kaavalla 40 laskettu kierron lämpöhäviö  $Q_{\text{kv,kierto}}$  jaetaan ra-  
kennuksen nettoalalla ja vuoden tuntimäärällä. Tällöin IDA-ICE:ssa käytettäväksi läm-  
pimän käyttöveden lämpöhäviön arvoksi saadaan  $1,7316 \text{ W}/\text{m}^2$ . Tästä lämpöhäviöstä 50  
% menee rakennuksen lämpökuormaksi.

IDA-ICE:ssa käytettiin vuotoilmavirtaa vakioarvolla. Tämä arvo saadaan  
RakMK:n osan D5 mukaan rakennuksen ilmanvuotoluvusta  $q_{50} = 2,0 \text{ m}^3/(\text{hm}^3)$ , kun se  
jaetaan kertoimella x. Tämä kerroin on yksikerroksisille rakennuksille 35. Näin saadaan  
vuotoilmavirta  $0,05714 \text{ m}^3/(\text{hm}^3 \text{ ulkoilmaa vasten})$ .

Kaukolämmityksessä rakennuksessa huonekohtainen lämmitys suoritetaan vesi-  
pattereilla, joiden jakojohdot ovat eristettyjä. Lämmönjaon ja -luovutuksen hyötysuhde

on 0,90. IDA-ICE:ssa häviöt kirjataan Lisäenergia ja energiahäviöt -osioon. Siellä häviöksi laitetaan 10 %, joista lämpönä vyöhykkeisiin tulee 0 %. Vesiradiaattoreiden menoveden lämpötila on 45 °C ja paluuveden lämpötila on 35 °C.

Vesiradiaattoreiden maksimiteho laskettiin suorittamalla lämmitystarpeen simulointi synteettisessä säässä -29 °C vakioulkolämpötilassa niin, että sisäisten lämpökuormien osuus on 0 %. RakMk:n vuoden 2012 osassa D3 mitoittava ulkoilman lämpötila säävyöhykkeellä II on -29 °C. Simuloinnin tuloksista tarkasteltiin huonelaitteen maksimilämmöntuottoa, jonka yksikkönä oli W. Tämä arvo kerrottiin luvulla 1,2, jotta lämmitysteho varmasti riittäisi. Laskettu teho kirjattiin huonekohtaisen vesiradiaattorin maksimitehoksi. Patterin leveys on oletusarvoisesti 1,2 m ja korkeus 0,5 m. Vesipatterin ala on siis 0,6 m<sup>2</sup>. Pattereita on joka huoneessa yksi kappale.

### 3.6.2 IDA-ICE:n lähtöarvot sähkölämmitysratkaisulle

Ilmanvaihtokone on vaihdettu parempaan ja tämän ansiosta ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on nostettu arvoon 73 %. Koneellisen tuloilmajärjestelmän ominaissähkötehon uusi arvo on nyt 1,3 kW/(m<sup>3</sup>/s). Poistoilmajärjestelmälle käytetään edelleen arvoa 1,0 kW/(m<sup>3</sup>/s).

Rakennusvaipan ilmatiiviyttä parannettiin korkealuokkaisen rakennustyön ansiosta. Rakennusvaipan uusi ilmanvuotoluvun arvo on  $q_{50} = 0,5 \text{ m}^3/(\text{hm}^3)$ . Vakio vuotoilmavirta saadaan, kun jaetaan tämä arvo kertoimella  $x$ , joka on yksikerroksisille rakennuksille 35. Vakio vuotoilmavirta on siten  $0,01429 \text{ m}^3/(\text{hm}^3 \text{ ulkoilmaa vasten})$ .

Sähköpattereiden lämmönjaon ja -luovutuksen hyötysuhde on 0,95. IDA-ICE:ssa häviöksi siis kirjataan 5 %, joista lämpönä vyöhykkeisiin tulee 0 %. Sähköpattereiden maksimitehot määritettiin samalla tavalla kuin vesipattereidenkin. Rakennukselle tehtiin lämmitystarpeen simulointi ulkoilman vakiolämpötilassa -29 °C. Määritetyt huonelaitteen maksimilämmöntuotot kerrottiin luvulla 1,2. Tämä laskettu teho kirjattiin huonekohtaisen sähköpatterin maksimitehoksi. Sähköpatterin leveys on oletusarvoisesti 1,0 m ja korkeus 0,5 m, joten patterin ala on 0,5 m<sup>2</sup>. Pattereita on yksi kappale joka huoneessa.

IDA-ICE-ohjelmassa ei ole mallinnettu lisälämmitysjärjestelmiä eikä aurinkoenergiajärjestelmiä. IDA-ICE:n simuloimat tulokset siirretään Excel-ohjelmaan, ja siellä suunnitellut lisäenergian hyödyntämismäärät vähennetään IDA-ICE:n vastaavien järjestelmien energiatarpeista. Lisälämmitysjärjestelmien kuluttamat energiat lisätään energiamuodon mukaisilla kertoimilla kerrottuna kokonaisenergiankulutukseen. Lisälämmitysjärjestelminä ovat varaava takka, josta hyödynnetään 2000 kWh lämpöenergiaa vuodessa ja ilma-ilmalämpöpumppu, josta hyödynnetään 1000 kWh lämpöenergiaa vuodessa. Varaavan tulisijan hyötysuhde on 0,6. Ilma-ilmalämpöpumpun lämpökerroin on suuruudeltaan 2,8. Lisäksi aurinkokeräimillä, joiden ala on 12 m<sup>2</sup>, lämmitetään käytövä. Tarvittaessa lisälämmitysjärjestelmät saisi mallinnettua IDA-ICE-ohjelmaan, mutta koska nyt haluttiin hyödyntää tarkka määrä energiaa lisälämmitysjärjestelmistä, niin Excel-ohjelmaa käyttämällä laskenta helpottui.



### 3.6.3 Jäähdytysjärjestelmän asetukset IDA-ICE:ssa

Jäähdytys tuodaan rakennukseen jäähdytetyllä tuloilmalla, tilakohtaisilla jäähdytyslaitteilla tai molemmilla. Tuloilman jäähdytys saadaan kytkettyä IDA-ICE:ssa pois päältä. Tällöin kaikki jäähdytys tapahtuu tilakohtaisilla jäähdytyslaitteilla. Tilakohtaiset jäähdytyslaitteet voivat olla ideaalisia jäähdytyslaitteita tai muunlaisia laitteita. Valittavana ovat jäähdytyslaite, lämmitys-/jäähdytyspaneeli, tuloilmapalkki sekä puhallinkonvektoreista IMS-jäähdytyspuhallinkonvektori, ilma-ilma kanavoimaton ilmastointilaite ja määrittelemätön puhallinkonvektori. Tilakohtaiselle lämmitykselle on valittavana samantyyppisiä vaihtoehtoja.

Ideaalijäähdytin ja ideaalilämmitin asentuvat oletusarvoisesti jokaiseen huoneeseen. Sieltä ne voi vaihtaa toisenlaisiin järjestelmiin. Ideaalijäähdyttimellä ei ole tarkkaa sijaintia huoneen pinnoilla. IDA-ICE:n ohjeiden mukaan se on vain laite, joka sijaitsee huoneessa ja sillä on suorituskyykyyn vaikuttavia ominaisuuksia. Ideaalijäähdyttimessä säädettävänä ovat maksimiteho ja luovutuksen hyötysuhde. Jäähdytyspatterin lämpötila ja COP-kerroin määritetään rakennuksen oletusarvoissa. COP-kertoimella tarkoitetaan jäähdytysenergian tuottoprosessin vuotuista kylmäkerrointa. IDA-ICE:n ohjeissa lukee, että teho tulisi valita niin että se varmasti riittää kaikissa oloissa.

Kaikissa tutkittavissa tapauksissa tuloilman jäähdytys on kytketty pois päältä. Jäähdyttiminä käytetään tilakohtaisia jäähdytyslaitteita. Jokaisessa huoneessa on jäähdytyslaite, jonka vuotuinen kylmäkerroin on 3. Jäähdytyslaite on siis vesilauhdutteen kompressori-kylmälaitos. Jäähdytyksen häviökertoimenä käytetään Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaoppaan (2011) mukaisesti arvoa 0,1. Ideaalijäähdyttimen ja jäähdytyslaitteen energiankulutuksessa ei ole juurikaan eroa. Tutkimuksessa ei ole kuitenkaan käytetty ideaalijäähdyttimiä.

Jäähdytyslaitteiden maksimiteho määritettiin IDA-ICE:ssa niin, että rakennukselle suoritettiin jäähdytystarpeen simulointi. Simuloinnissa kaikki lämpökuormat olivat käytössä, ovet ja ikkunat olivat kiinni eikä ikkunoissa ollut verhoja. Simuloinnit suoritettiin vuosien 2012, 2030, 2050 ja 2100 säätiedoilla. Simulaatioissa huoneiden jäähdytysrajana oli 21 °C. Simuloinnin tuloksista tutkittiin osiota: Tilan jäähdytyslaitteen maksimijäähdytysteho. Tämä teho on kerrottu luvulla 2. Näin varmistetaan riittävä jäähdytysteho. Tutkimus suoritettiin kaikilla testivuosilla ja tuloksista valittiin suurimmat maksimijäähdytystehot. Joissakin huoneissa suurin jäähdytysteho saattoi olla vuodella 2030, eikä myöhemmillä testivuosilla. Kaikille samanlaisen tutkittavan rakennuksen testivuosille asennettiin saman tehoiset jäähdytyslaitteet.

## 3.7 Eri laskentatapausten esittely

Rakennuksen energiankulutuksen laskenta on suoritettu käsinlaskentana Excel-ohjelmaa käyttäen sekä IDA-ICE-ohjelmalla laskien. Tulevaisuuden testivuosilla suoritettava laskenta on tehty vain IDA-ICE-ohjelmalla. Liitteissä on lisäksi esitetty Natalia Kajavan kandidaatintyön mukaisilla asetuksilla varustetun rakennuksen laskentatuloksia. Liit-

teessä 1 on selostettu kyseisen kandidaatintyön eroavaisuudet muihin laskentatapauksiin verrattaessa.

### 3.7.1 Perustapaus

Perustapauksessa on käytetty pientalon sähköllä lämmitettyä versiota ja kaukolämmitettyä versiota, jotka on esitetty kappaleessa 3.1. Näistä rakennuksista käytetään tulevassa tekstissä nimityksiä kaukolämmitetty perustapaus ja sähköllä lämmitetty perustapaus. Seuraavassa taulukossa on esitettynä näiden kahden rakennuksen väliset erot laskennan lähtöarvojen osalta.

*Taulukko 3.10. Tutkittavien kaukolämmitetyn ja sähköllä lämmitetyn pientalon toisistaan eriävät laskennan lähtöarvot.*

	Kaukolämmitetty pientalo	Sähköllä lämmitetty pientalo
Yläpohjan U-arvo [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,09	0,08
Ulkoseinien U-arvo [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,17	0,11
Alapohjan U-arvo (ilman maan lämmönvastusta) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,25	0,25
Ikkunoiden U-arvo [W/(m <sup>2</sup> K)]	1	0,72
Ovien U-arvo [W/(m <sup>2</sup> K)]	1	0,66
Väliseinien U-arvo [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,47	0,47
Lämmitys	Kaukolämmitys	Sähkölämmitys
Päälämmönjakojärjestelmä	Vesiradiaattorit	Sähköpatterit
Päälämmönjakojärjestelmän lämmönjaon- ja luovutuksen hyötysuhde	0,9	0,95
Lämmitysenergian tuoton hyötysuhde	0,94	1
Lisälämmitysjärjestelmät	-	Varaava tulisija, hyötysuhde 0,6, hyödynnetään lämpöenergiaa 2000 kWh/a
		Ilma-ilmalämpöpumppu, lämpökerroin 2,8, hyödynnetään lämpöenergiaa 1000 kWh/a
		Aurinkokeräimiä 12 m <sup>2</sup> , osa lämpimän käyttöveden lämmitystarpeesta katetaan näillä
Lämpimän käyttöveden varaaja	-	300 l
Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde	45 %	73 %
IV-ominaissähköteho [kW/(m <sup>3</sup> s)]	2	1,3
Vaipan ilmanvuotoluku q <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /(hm <sup>2</sup> )]	2	0,5

Kuten taulukosta 3.10 nähdään, on sähköllä lämmitetyssä pientalossa paremmat vaipan U-arvot kuin kaukolämmitetyssä rakennuksessa. Alapohjan U-arvo on molemmilla sama. Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on sähköllä lämmitetyllä rakennuksella 73 %, kun se kaukolämmitetyllä rakennuksella on 45 %. Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho ja rakennusvaipan ilmanvuotoluku ovat sähköllä lämmitetyssä raken-

nuksessa pienempiä kaukolämmitettyyn rakennukseen verrattuna. Sähköllä lämmitetys-  
sä rakennuksessa hyödynnetään lisälämmitysjärjestelmistä varaavaa tulisijaa, ilma-  
ilmalämpöpumppua sekä aurinkokeräimiä.

Käytettävien jäähdytyslaitteiden vuotuinen kylmäkerroin on 3. Jäähdytyksen hä-  
viökertoimelle käytetään arvoa 0,1. Nämä jäähdytysjärjestelmän ominaisuudet ovat sa-  
mat kaikilla tutkittavilla pientaloilla.

### **3.7.2 Verhot sisältävä tapaus**

Rakennukseen on lisätty verhot touko-syyskuulle. Ikkunoissa on vaaleat kaihtimet lasien välissä tänä aikana. Muina kuukausina ikkunoissa ei ole verhoja. Vaaleat kaihtimet vastaavat Ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen energiatodistuksesta (765/2007) asettamia ohjeita verhokertoimelle 0,3 tuona aikana. RakMK:n osan D5:n (2012) mukaan verhokerroin 0,3 vastaa valkoisia sälekaihtimia lasien välissä ja verhokerroin 1,0 tarkoittaa ettei verhoja ole lainkaan. Käsinelaskennassa käytetään verhokerrointa 0,3 ja IDA-ICE-laskennassa käytetään vaaleita kaihtimia lasien välissä. IDA-ICE:ssä verhokertoimelle ei anneta suoraan arvoa 0,3, vaan siinä on verhoilla erilliset kertoimet g:lle, T:lle ja U-arvolle. Vuoden 2013 Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen energiatodistuksesta ei mainita verhokerrointa. Verhojen vaikutusta ei tarvitsisi siis ottaa määräysten mukaan huomioon. Ne voi kuitenkin huomioida laskennassa, jos niin halutaan.

Verhojen lisäksi muita muutoksia ei tehty tutkittavalle rakennukselle verrattaessa perustapaukseen. Laskelmat on tehty sekä kaukolämmitetylle että sähköllä lämmitetylle rakennukselle.

### **3.7.3 Tapaus, jossa rakennus käännetään**

Pientaloa on käännetty alkuperäisestä tilanteesta 180 astetta. Muita muutoksia rakennukselle ei tehty. Tämän operaation jälkeen siis entinen pohjoisjulkisivu on etelän puolella ja entinen eteläinen julkisivu pohjoisen puolella. Samoin itä- ja länsijulkisivu vaihtavat paikkaa. Tutkittavassa rakennuksessa kuitenkin etelän ja pohjoisen puoleisten ikkunoiden pinta-aloissa ei ole eroa kuin 0,01 m<sup>2</sup> alkuperäisen eteläpuolen hyväksi. Alkuperäisellä itäpuolella ikkuna-alaa oli 0,25 m<sup>2</sup> ja länsipuolella 0,75 m<sup>2</sup>. Rakennuksen kääntämisestä ei ollut odotettavissa siis suuria muutoksia käsinelaskennassa, sillä siinä ei oteta huonejakoja huomioon.

IDA-ICE-laskennassa on otettu huomioon ikkunoiden sijoittuminen eri huoneisiin. Kun rakennusta käännetään 180 astetta, niin rakennuksen suuren keskitilan ikkuna-ala pienenee. Huonekohtaisiin lämpötiloihin rakennuksen kääntämisellä on enemmän vaikutusta. Kokonaisenergiankulutukseen ei ollut odotettavissa kuitenkaan suuria muutoksia. Laskelmat on tehty sekä kaukolämmitetylle että sähköllä lämmitetylle rakennukselle.

### 3.7.4 Tapaus, jossa ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerrointa korotetaan

Pientaloa on tutkittu ikkunoilla, joiden valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroimen arvo on suurempi kuin muissa tutkittavissa versioissa. Sama muutos on tehty sekä kaukolämmitetylle että sähkölämmitetylle rakennukselle. Ikkunoiden U-arvot ovat samat kuin muissakin versioissa eli kaukolämmitetyllä rakennuksella  $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  ja sähköllä lämmitetyllä rakennuksella  $0,72 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

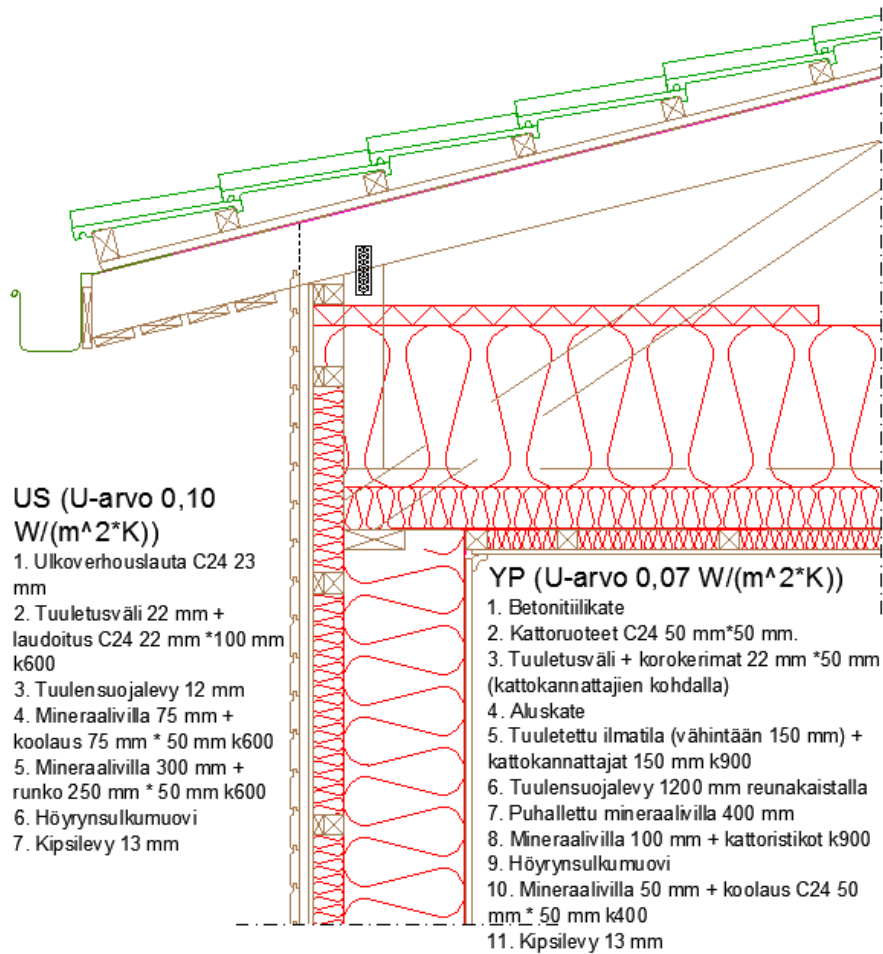
Alkuperäisessä pientalossa ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin  $g$  oli arvoltaan 0,32. Tässä tapauksessa ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin  $g$  on 0,61. IDA-ICE:ssa käytetään termille lyhennettä SHGC.

IDA-ICE-laskennassa ikkunoilla on kokonaissäteilyn läpäisykerroimen lisäksi määritettävissä arvot aurinkoenergian suoraläpäisykerroimelle ja näkyvän valon läpäisylle. Pilkingtonin Lasifakta 2012 -kuvastossa käytettävä termi ST tarkoittaa aurinkoenergian suoraläpäisykerrointa. IDA-ICE:ssa kyseisen termin lyhenne on T. Suoraläpäisykerroin oli alkuperäisen pientalon ikkunoilla 0,28, ja tämän tapauksen ikkunoilla se on 0,51. Pilkingtonin kuvastoissa esiintyvä termi LT tarkoittaa näkyvän valon läpäisysuhteessa kohdistuvaan valoon. IDA-ICE:ssa käytetään lyhennettä  $T_{\text{näk}}$ . Näkyvän valon läpäisy oli alkuperäisen pientalon ikkunoilla 0,59 ja tämän tapauksen ikkunoilla se on 0,67.

U-arvoa lukuun ottamatta kaukolämmitetyn ja sähköllä lämmitetyn rakennuksen ikkunat ovat ominaisuuksiltaan samanlaiset keskenään. Muita muutoksia ei tehty rakennukselle.

### 3.7.5 Tapaus, jossa on saavutettu energiatehokkuusluokka B

Tässä tapauksessa on tutkittu, mitä muutoksia sähköllä lämmitetylle rakennukselle täytyy tehdä, jotta tämä saataisiin energiatehokkuusluokkaan B. Energiatehokkuusluokan B yläraja on tutkittavan rakennuksen tapauksessa  $140 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . Rakennusta on muutettu niin, että se käsinlaskennan mukaan alittaa B-energiatehokkuusluokan rajan. IDA-ICE-laskentaan on tehty samat muutokset kuin käsinlaskentaankin. Näitä tuloksia on verrattu keskenään. Sähköllä lämmitetyn rakennuksen saamiseksi energiatehokkuusluokkaan B, on lisätty rakennusvaipan eristyspaksuutta. Seuraavassa kuvassa on esitetty yläpohjan ja ulkoseinän uudet rakenteet.



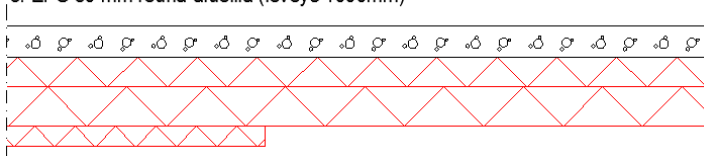
*Kuva 3.9. Ulkoseinän ja yläpohjan rakenne sähköllä lämmitetyllä rakennuksella, jolle on tehty B-energiatohokkuusluokkaan johtavat parannukset.*

Ulkoseinien eristyspaksuutta on kasvatettu 50 mm. Eristeiden kokonaispaksuus ulkoseinissä on tämän jälkeen 375 mm. Ulkoseinän uusi lämmönläpäisykertoimen arvo on 0,10 W/(m²/K). Yläpohjan puhalletun mineraalivillakerroksen paksuutta on kasvatettu 50 mm:llä. Yläpohjan uusi lämmönläpäisykertoimen arvo on 0,07 W/(m²K).

Alapohjan keskialueen EPS-lämmöneristysten paksuutta on kasvatettu 25 mm, jolloin uusi lämmöneristyspaksuus on 175 mm. Alapohjan rakenne on esitetty seuraavassa kuvassa.

**AP (U-arvo 0,22 W/(m²K) ilman maan lämmönvastusta)**

1. Teräsbetoni-laatta 80 mm
2. EPS 175 mm
3. EPS 50 mm reuna-alueilla (leveys 1000mm)



*Kuva 3.10. Alapohjan rakenne sähköllä lämmitetyllä rakennuksella, jolle on tehty B-energiatohokkuusluokkaan johtavat parannukset.*

Alapohjan uusi lämmönläpäisykerroin on siis  $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Tässä arvossa ei ole otettu maan lämmönvastusta huomioon.

Lämmönläpäisykertoimien muutokset paransivat rakennuksen E-lukua  $7 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$  käsinlaskennan mukaan. Tämä parannus koostuu tilojen lämmitykseen kuuluneesta energiasta. U-arvoina laskennassa käytetään kahden desimaalin tarkkuudella määritettyjä arvoja. Ikkunoiden ja ovien lämmönläpäisykertoimia ei ole muutettu.

Aiemmissa tutkittavissa tapauksissa on käytetty lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviönä  $\phi_{\text{kv.kiertohäviö.omin}}$  arvoa  $40 \text{ W}/\text{m}$ . RakMK:n osassa D5 (2012) on todettu, että lämpöhäviön ominaistehon ohjearvona voidaan käyttää tätä arvoa  $40 \text{ W}/\text{m}$ . Jos kuitenkin eristystaso tunnetaan, voidaan käyttää taulukon 2.8 mukaisia arvoja lämpöhäviön ominaisteholle. Taulukon mukaan arvo  $40 \text{ W}/\text{m}$  vastaa sitä, ettei kiertojohtoon eristystasosta ole tietoa. Kun kiertojohtoon eristystasoa parannetaan, niin lämpöhäviö pienenee. Tämän seurauksena rakennuksen lämmitystarve kasvaa ja jäähdystarve alenee. Samalla lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluvan energian määrä alenee. Puolet lämpöhäviöstä tulee lämpökuormaksi rakennuksen sisälle.

Lämpimän käyttöveden kiertojohtojen eristystasoksi laitettiin  $0,5$ -kertainen kerros eristettä putken ulkohalkaisijaan verrattuna. Kiertojohtoon lämpöhäviö on tällöin  $10 \text{ W}/\text{m}$ . Tämä toimenpide paransi tutkittavan sähköllä lämmitetyn rakennuksen E-lukua  $13 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$  käsinlaskennalla suoritettuna.

Näillä toimenpiteillä saatiin tutkittava sähköllä lämmitetty pientalo käsinlaskennan mukaan energiatehokkuusluokkaan B. Käsinlaskettu E-luku saa arvon  $140 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ .

### 3.7.6 Tapaus, jossa on saavutettu energiatehokkuusluokka A

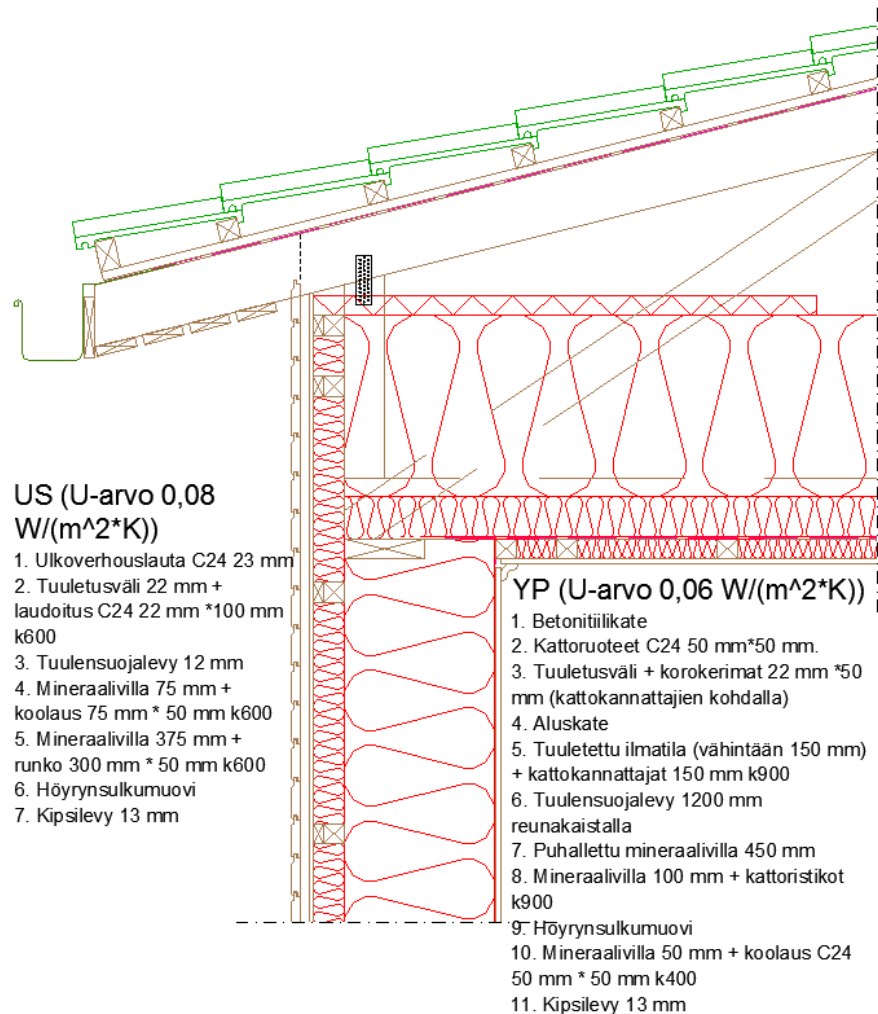
Energiatehokkuusluokan A yläraja on tutkittavan rakennuksen tapauksessa  $85 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . Tämän rajan saavuttamiseksi tulee tehdä merkittäviä parannuksia rakennuksen eri osa-alueisiin. Muutokset on tehty niin, että rakennus saavuttaa A-energiatehokkuusluokan käsinlaskennassa. Rakennuksen energiatehokkuutta on parannettu suunnittelemalla siitä passiivitalo. Rakennuksen tulee tällöin täyttää passiivitalon vaatimukset.

Passiivi.info:n Passiivitalon määritelmässä kerrotaan passiivitalon kriteereistä. Määritelmän mukaan ilmanvuotoluvun  $n_{50}$  arvo saa Suomessa olla korkeintaan  $0,6 \text{ 1/h}$ . Tämä on sama arvo kuin passiivitalon kansainvälisissä kriteereissä. Tilojen lämmitysenergiatarve saisi olla Suomessa korkeintaan  $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  Etelä-Suomen rannikolla,  $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  Keski-Suomessa ja  $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  Pohjois-Suomessa. Kokonaisprimäärienergian kulutukselle on määritelmän mukaan kriteerinä korkeintaan  $130 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  kulutus Etelä-Suomen rannikolla,  $135 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  kulutus Keski-Suomessa ja  $140 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  kulutus Pohjois-Suomessa. Passiivitalolla suuntaa antava poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen arvo on yli  $80 \%$ .

Passivitaloilla kylmäsilloissa viivamaisen kylmäsillan lisäkonduktanssi  $\Psi_k$  tulisi olla pienempi kuin  $0,01 \text{ W}/(\text{m K})$ . Tutkittavan rakennuksen kylmäsillojen lisäkonduktanssit  $\Psi_k$  on pienennetty arvoon  $0,01 \text{ W}/(\text{m K})$ . Ilmanvuotoluvun  $n_{50}$  arvo  $0,6 \text{ 1/h}$  vas-

taa rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  arvoa  $0,518 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ . Ilmanvuotoluvulle  $q_{50}$  on käytetty arvoa  $0,5 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ . Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on parannettu arvoon 83 %.

Lisäksi on kasvatettu rakennusvaipan eristyspaksuutta. Ulkoseinien eristyspaksuutta on kasvatettu alkuperäiseen rakennukseen nähden 125 mm. Eristeiden kokonaispaksuus ulkoseinissä on tämän jälkeen 450 mm. Yläpohjan puhalletun mineraalivillakerroksen paksuutta on kasvatettu 100 mm:llä alkuperäiseen rakennukseen verrattuna. Ulkoseinien ja yläpohjan uusi rakenne on esitetty seuraavassa kuvassa.

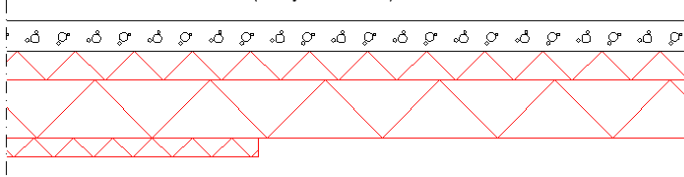


**Kuva 3.11.** Ulkoseinän ja yläpohjan rakenne sähköllä lämmitetyllä rakennuksella, jolle on tehty A-energiatehokkuusluokkaan johtavat parannukset.

Ulkoseinän lämmönläpäisykertoimen arvo on nyt  $0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Yläpohjan uusi lämmönläpäisykertoimen arvo on  $0,06 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Lisäksi on kasvatettu alapohjan keskialueen EPS-lämmöneristyspaksuutta 75 mm alkuperäiseen pientaloon nähden. Uusi lämmöneristyspaksuus on 225 mm. Tämä alapohjan rakenne on esitetty seuraavassa kuvassa.

AP (U-arvo 0,17 W/(m<sup>2</sup>\*K) ilman maan lämmönvastusta)

1. Teräsbetoni-laatta 80 mm
2. EPS 225 mm
3. EPS 50 mm reuna-alueilla (leveys 1000mm)



Kuva 3.12. Alapohjan rakenne sähköllä lämmitetyllä rakennuksella, jolle on tehty A-energiatohokkuusluokkaan johtavat parannukset.

Rakennukseen on valittu lämmönläpäisyn osalta paremmat ovet. Laskennassa on käytetty Jeld-Wen Door Solutionsin ADVANCE -tuotelinjan Arctic-rakenteista ovea, jonka lämmönläpäisykerroin on 0,58 W/(m<sup>2</sup>K).

Kaikki lämmönläpäisykertoimien parannukset pienensivät rakennuksen E-lukua noin 17 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) käsinlaskennan mukaan, kun verrataan sähköllä lämmitettyyn perustapaukseen. B-energiatohokkuusluokan lämmöneristystasosta parannus oli 10 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). U-arvoina on käytetty edelleen kahden desimaalin tarkkuudella laskettuja arvoja.

RakMK:n osasta D5 (2012) otetussa taulukossa 2.8 on esitetty lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviön ominaistehoja. 40 W/m vastaa sitä, ettei kiertojohdon eristystasosta ole tietoa. Jos lämpimän käyttöveden kiertojohtojen eristeenä on 1,5-kertainen kerros eristettä putken ulkohalkaisijaan verrattuna ja lisäksi suojaputki, niin kiertojohdon lämpöhäviö on 5 W/m. Tämä toimenpide paransi tutkittavan sähköllä lämmitetyn rakennuksen E-lukua 14 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) käsinlaskennalla suoritettuna. IDA-ICE-laskennassa parannus oli 15 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Kaukolämmitetyllä rakennuksella E-luvun parannus olisi käsinlaskennan ja IDA-ICE-laskennan mukaan 6 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Tätä eristystasoa on käytetty kiertojohdoille, jolloin kiertojohdon lämpöhäviö pienenee, mistä syystä rakennuksen lämmitystarve kasvaa ja jäädytystarve alenee. Samalla lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluvan energian määrä alenee. Puolet lämpöhäviöstä tulee lämpökuormaksi rakennuksen sisälle.

Passiivitalon kriteerien täyttämisen ja eristyspaksuuden kasvattamisen lisäksi rakennukselle tulee tehdä muitakin muutoksia. Rakennukseen on lisätty aurinkopaneelit, joilla tuotetaan 40 % niiden sähköllä toimivien järjestelmien energiantarpeesta, joiden energiankulutus ei juuri vaihtelee eri vuodenaikojen välillä. Tällaisia järjestelmiä ovat ilmanvaihto, valaistus, kuluttajalaitteet sekä lämpimän käyttöveden pumput ja apulaitteet. Aurinkopaneelit on sijoitettu rakennuksen katon etelänpuoleiselle lappeelle. Tähän riittää 14 m<sup>2</sup> aurinkopaneeleita. Myös lämpimän käyttöveden lämmittämiseen käytettävät aurinkokeräimet on sijoitettu samalle katon lappeelle. Aurinkokeräimillä tuotetaan 40 % lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuluvasta energiasta. Tähän riittää 12 m<sup>2</sup> aurinkokeräimiä.

Ilmanvaihtokoneen ominaissähkötehoa SFP on pienennetty arvosta 1,3 kW/(m<sup>3</sup>/s) arvoon 1,0 kW/(m<sup>3</sup>/s). Ikkunoiden kehäkerroin F<sub>kehä</sub> on suurennettu arvosta 0,75 arvoon 0,9. Näin ollen rakennukseen tulee auringon säteilyn mukana enemmän



lämpökuormaa. RakMK:n osassa D5 (2012) on esitettyä ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykertoimen  $g$  ohjearvoja. Ohjearvoja voi käyttää, jos ei tiedetä ikkunan kokonaissäteilyn läpäisykertoimen  $g$  todellista arvoa. Jos oletetaan, ettei tässä tapauksessa tiedetä ikkunan todellista läpäisykerrointa ja lasketaan sille arvo D5:n mukaisella kaavalla 20 käyttäen D5:ssä (2012) olevan yhdistelmän ”eristyslasi + matalaemissiviteettipinnoite + erillislasi” kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykertoimen  $g_{\text{kohtisuora}}$  arvoa, niin saadaan ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykertoimen arvoksi 0,495. Pilkingtonin Lasifakta 2012 -kuvaston mukaan alhaisen U-arvon omaavalla energiansäästölasilla  $g$ :n arvo voi olla noin 0,49. Ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykertoimelle  $g$  on siten käytetty arvoa 0,495.

Valaistuksen lämpökuormasta RakMK:n osassa D3 (2012) todetaan, että E-luvun laskennassa voidaan käyttää taulukon 3.3 arvoista eroavia arvoja, jos valaistustaso säilyy. Alempia valaistustehoja siis voi käyttää. Valaistustasosta on kuitenkin tehtävä erillisselvitys, joka esitetään energialaskennan lähtötietojen osana. Sähköllä lämmitetyn rakennuksen energiatehokkuutta on parannettu myös asentamalla rakennukseen led-valaistus. Valaistuspaikat on järjestetty niin, ettei niihin ole mahdollista asentaa hehku-lamppuja, jolloin led-valaistusta on käytettävä. Valaistuksen käyttöajat ja käyttöasteet ovat samat kuin muissakin tutkittavan rakennuksen versioissa. Tarkasteluista on arvioitu, että led-valaistuksen energiankulutus on 80 prosenttia pienempi kuin D3:n (2012) mukainen kulutus. Arvio on tehty Limic Oy:n Led-valo ja sähkönsäästö -esitteen (2007) pohjalta. Lämpökuormaa syntyy led-valoja käytettäessä vähemmän kuin hehku-lamppuja käytettäessä. Kesällä jäähdytystarve alenee tämän seurauksena. Talvella hehku-lamppujen tuottamaa lämpöä hyödynnetään lämmityksessä, joten talvella led-valoista saatava hyöty ei ole yhtä suuri kuin kesällä. Tutkittavalla pientalolla led-valojen käytöllä saatiin E-lukua alennettua noin 2,5 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a).

Lämminvesivaraajan kokoa on pienennetty 300 litrasta 200 litraan. Lämpimän käyttöveden varastoinnista tulee häviötä nyt 500 kWh/a, kun sitä aiemmin tuli 650 kWh/a. Ilma-ilmalämpöpumpusta on hyödynnetty 1500 kWh lämpöenergiaa vuodessa. Varaavasta tulisijasta ei hyödynnetä enää yhtään energiaa. Tulisijan huonon hyötysuhteen (0,6) takia siitä ei ole energiankulutusten laskennassa yhtä paljon hyötyä kuin ilma-ilmalämpöpumpusta.

Näillä suoritetuilla toimenpiteillä saatiin tutkittava sähköllä lämmitetty pientalo käsinlaskennan mukaan energiatehokkuusluokkaan A. Käsinlaskennalla määritetty E-luku saa arvon 85 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a).

## 4 LASKENNAN TULOKSIA

Tässä kappaleessa esitetään käsinlaskennan ja IDA-ICE-laskennan tulokset. Kaikki käsinlaskenta on suoritettu käyttäen RakMK:n osan D3 (2012) kuukausittaisia säävyöhykkeiden I ja II säätietoja. IDA-ICE-laskennassa on käytetty Ilmatieteen laitoksen rakennusten energialaskennan ilmastollisia testivuotia TRY2012, TRY2030, TRY2050 ja TRY2100 vyöhykkeille I ja II. Kaikki tulevaisuuden testivuosilla tehdyt laskennat on siis suoritettu IDA-ICE-ohjelmalla. Rakennuksen sallittu kokonaisenergiankulutuksen eli E-luvun enimmäisarvo on  $178 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . E-luvun laskennassa jäähdytystä ei ole otettu huomioon. Syy tähän on se, että pientaloilla ei kesäajan lämpötilojen laskentaa tarvitse suorittaa.

Ensiksi esitetään käsinlaskennan tulokset E-luvun ja jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen osalta. Tulokset on esitetty kaikista tutkituista tapauksista. Sitten esitetään IDA-ICE-laskennan tulokset E-luvun ja jäähdytysjärjestelmien energiankulutuksien osalta. Tämän jälkeen esitetään vertailua käsinlaskennan ja IDA-ICE-laskennan tulosten välillä. Vertailuun on otettu mukaan myös sisäilman lämpötilojen laskenta molemmilla menetelmillä.

### 4.1 Käsinlaskennan tulokset

Käsinlaskenta on suoritettu Excel-ohjelmalla. Laskennassa on noudatettu Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeita. Erityisesti osia C4, D3 ja D5 on käytetty laskennassa. Tarkempia taulukoita kokonaisenergiankulutuksen ja jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen tuloksista on esitetty liitteissä. Liitteissä on myös esitetty Natalia Kajan kandidaatintyön, Uusien energiamääräysten täyttäminen suoraa sähkölämmitystä käyttävissä pientaloissa (2012), mukaisilla asetuksilla varustetun rakennuksen E-luvut ja jäähdytyksen energiankulutukset. Liitteessä 1 on taulukoita E-luvun käsinlaskennan tuloksista. Liitteessä 3 on taulukoita käsinlaskennan tuloksista koneellisen jäähdytyksen energiankulutuksen osalta.

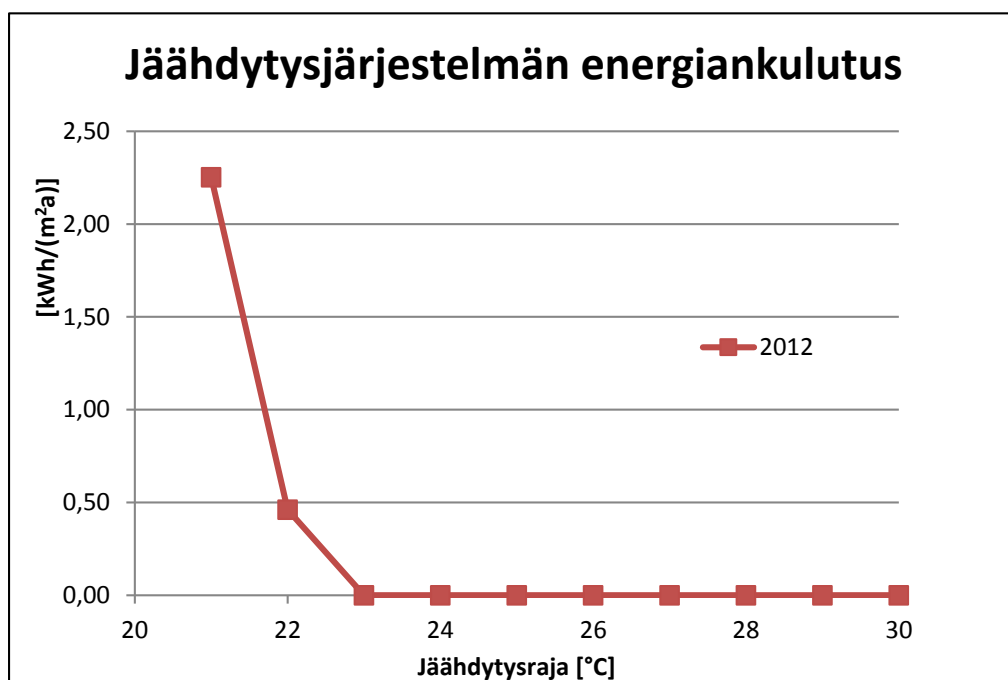
#### 4.1.1 Perustapauksen kokonaisenergiankulutus ja jäähdytystarve

Esitetään aluksi käsinlaskennalla saadut tulokset kaukolämmitetyn ja sähköllä lämmitetyn pientalon perustapauksista. Perustapausten ominaisuudet on esitetty kappaleessa 3. Kaukolämmitetyllä rakennuksella päästään E-lukuun  $154 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . Sähköllä lämmitetty rakennus pääsee käsinlaskennan mukaan E-lukuun  $161 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . Molemmat siis alittavat E-luvun vaatimukset.

Sähköllä lämmitetty rakennus läpäisisi E-luvun vaatimukset, vaikka varaava takka otettaisiin kokonaan pois. Silloin se saisi E-luvun  $174 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . Lisäksi ilmalämpöpumpusta hyödynnettävää energiaa on vara pienentää 40 %:lla. Silloin E-luku saisi arvon  $178 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ , joka on E-luvun enimmäisarvo tutkittavalla rakennuksella. Jos aurinkoenergiasta luovuttaisiin lämpimän käyttöveden lämmityksessä kokonaan,

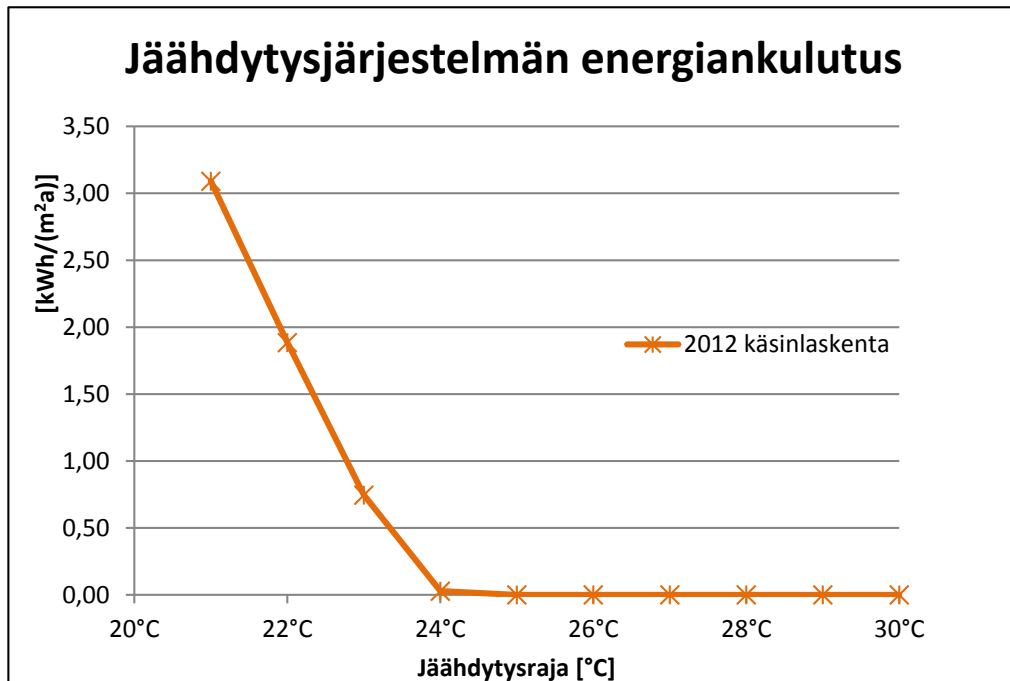
mutta varaavasta takasta ja ilma-ilmalämpöpumpusta hyödynnettävät energiat säilyisivät alkuperäisen perustapauksen määrissä, niin E-luvuksi saataisiin 181 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Jos aurinkoenergiasta haluaisi luopua, niin mahdollinen keino olisi lisätä ilma-ilmalämpöpumpusta hyödynnettävää energiaa 30 %:lla. Tällöin päästäisiin E-lukuun 178 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a).

Jäähdytykseen kuluvaa energiaa on tutkittu RakMK:n osan D5 vuoden 2007 mukaisien kaavojen avulla. Vuoden 2012 versiossa ei jäähdytyksen kuukausitason laskennan kaavoja enää ole. Laskenta on tehty siis kuukauden keskilämpötiloja käyttäen. Jäähdytykseen kuluva energia on tutkittu jäähdytysrajaa muuttamalla välillä 21 - 30 °C. Kaukolämmitetyn pientalon perustapauksen jäähdytyksen energiankulutus on esitetty kuvassa 4.1.



Kuva 4.1. Käsineläskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Kaukolämmitetty rakennus, perustapaus. Tarkastelu on tehty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.

Kuvien arvojen laskennassa ei ole käytetty energianmuodon kertoimia. Kuvissa on siis esitetty todellinen energiankulutus neliometriä kohden koko vuoden aikana. Kuten edellisestä kuvasta nähdään, niin jäähdytysrajan ollessa 23 °C tai enemmän, ei jäähdytystä enää tarvita. Jäähdytysrajan ollessa 21 °C, on jäähdytysjärjestelmän energiankulutus 2,25 kWh/(m<sup>2</sup>a). Jäähdytysrajaa nostettaessa arvoon 22 °C, kulutus putoaa miltei viidesosaan. Kuvassa 4.2 on esitetty sähköllä lämmitetyn rakennuksen perustapauksen jäähdytyksen energiankulutukset.



Kuva 4.2. Käsinlaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. Tarkastelu on tehty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.

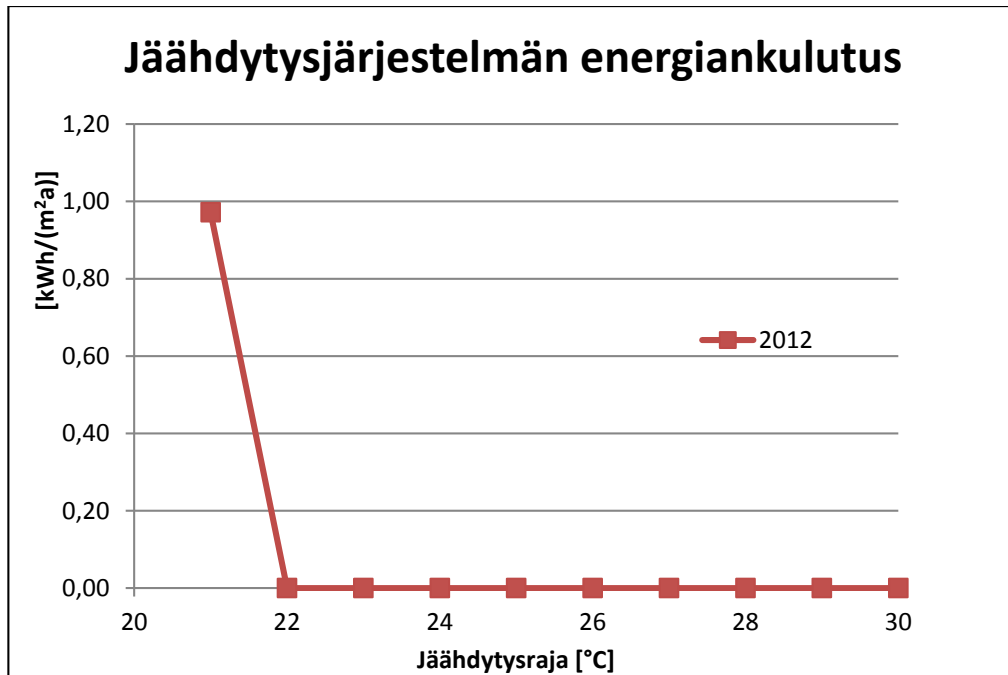
Kuvasta nähdään, että sähköllä lämmitetyn rakennuksen jäähdytysrajan ollessa 25 °C tai enemmän, ei jäähdytystä enää tarvita. Jäähdytysrajan ollessa 21 °C, on jäähdytysjärjestelmän energiankulutus 3,09 kWh/(m²a). Käyrä näyttää menevän suorana jäähdytysrajan ollessa välillä 21 - 23 °C. Jäähdytysenergian määrä laskee loivemmin sähköllä lämmitetyllä rakennuksella kuin kaukolämmitetyllä rakennuksella.

#### 4.1.2 Verhojen käytön vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen

Tutkittava tapaus eroaa perustapauksesta siinä, että touko-syyskuussa on käytetty verho-kerroimen arvoa 0,3. Perustapauksessa verhoja ei ollut lainkaan käytössä, eli verho-kerroin oli silloin 1,0. Kaukolämmitetyllä rakennuksella päästään nyt E-lukuun 157 kWhE/(m²a). Perustapauksessa heinä- ja elokuussa ei tarvittu lämmitystä. Kun verhoja käytetään, niin lämpökuorma on kesällä laskenut sen verran, että joka kuussa on tarvittu tilojen lämmitystä.

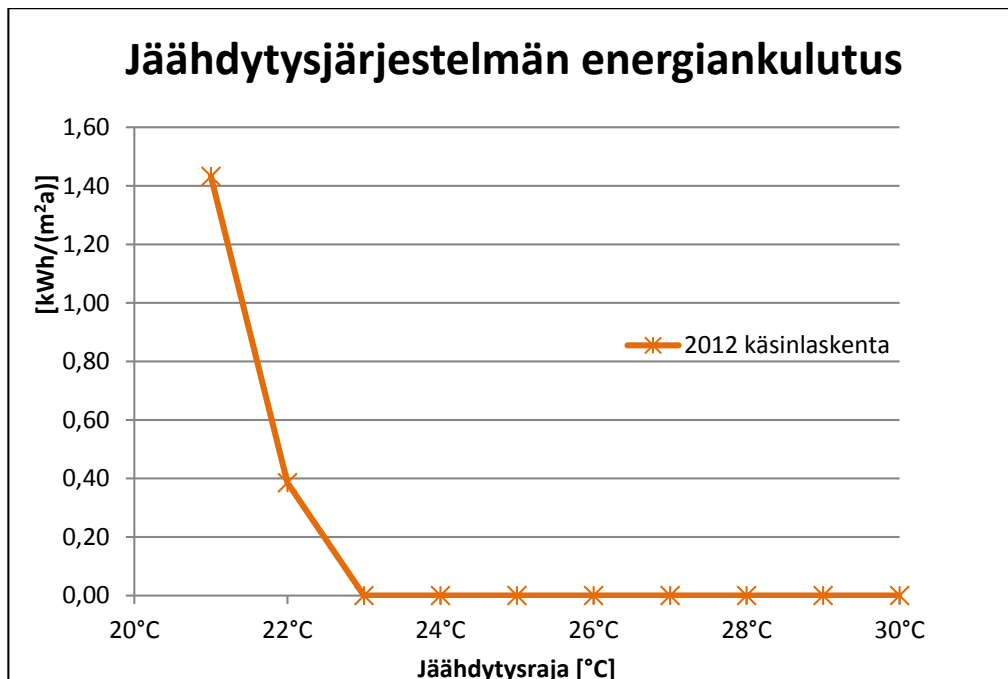
Verhot sisältävä sähköllä lämmitetty rakennus pääsee käsinlaskennan mukaan E-lukuun 165 kWhE/(m²a). Kokonaisenergiankulutus on siis kasvanut 5 kWhE/(m²a) verrattaessa perustapaukseen. Tämä kasvu koostuu ainoastaan lämmitykseen kuluneesta energiasta.

Verhojen käyttö kesällä alentaa sisälle syntyvää lämpökuormaa, koska auringon säteilyenergiaa ei pääse yhtä paljoa sisälle rakennukseen. Kaukolämmitetyn verhot sisältävän pientalon jäähdytyksen energiankulutus on esitetty kuvassa 4.3.



Kuva 4.3. Käsinlaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Kaukolämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Tarkastelu on tehty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.

Kuvasta nähdään, että jäähdytysrajan noustessa vähintään arvoon 22 °C, ei jäähdytystä enää tarvita. Jäähdytysrajan ollessa 21 °C, on jäähdytysjärjestelmän energiankulutus 0,97 kWh/(m²a). Se on yli puolet vähemmän kuin tapauksessa, jossa verhoja ei käytetty. Kuvassa 4.4 nähdään verhot sisältävän sähköllä lämmitetyn rakennuksen jäähdytyksen energiankulutukset.



Kuva 4.4. Käsinlaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Sähköllä lämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Tarkastelu on tehty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.

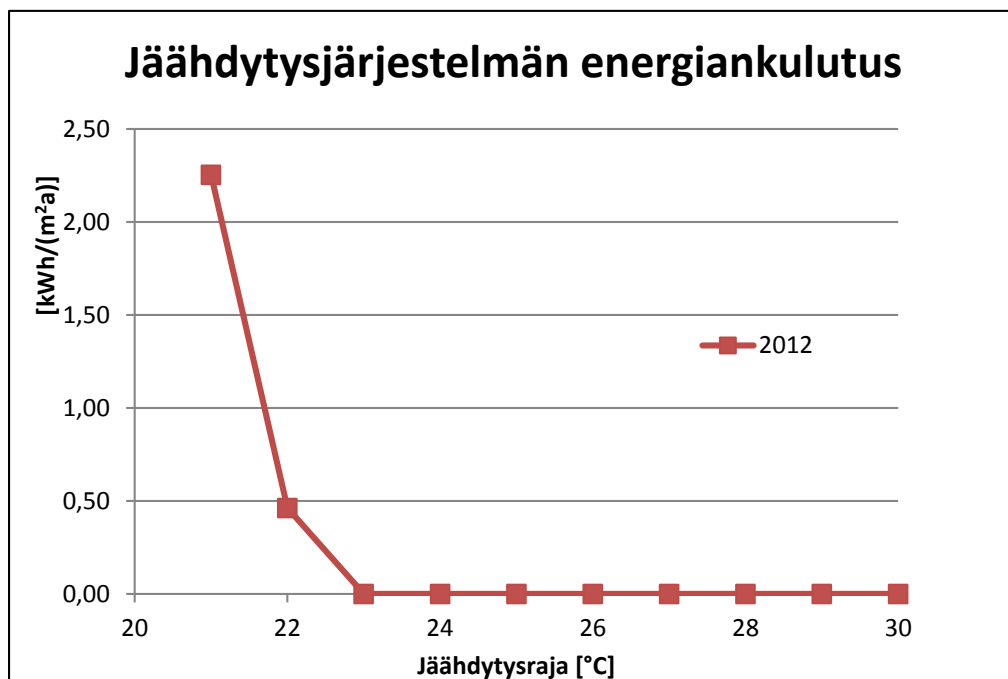
Kun verhoja käytetään, niin sähköllä lämmitettyä rakennusta ei tarvitse jäähdyttää jos jäähdytysraja on vähintään 23 °C. Jäähdytysrajan ollessa 21 °C on jäähdytykseen kulunut energia alle puolet perustapaukseen verrattuna. Verhojen käyttö toimii siis mainiona passiivisena jäähdytyskeinona.

#### 4.1.3 Rakennuksen kääntämisen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen

Pientaloa on käännetty 180 astetta. Muita muutoksia rakennukselle ei ole tehty perustapaukseen verrattuna. Ilmansuuntaakohtaisissa ikkunapinta-aloissa ei ole suurta eroa alkuperäiseen tapaukseen verrattaessa. Tästä syystä kaukolämmitetyllä rakennuksella saadaan sama E-luku kuin perustapauksella eli 154 kWh/(m<sup>2</sup>a).

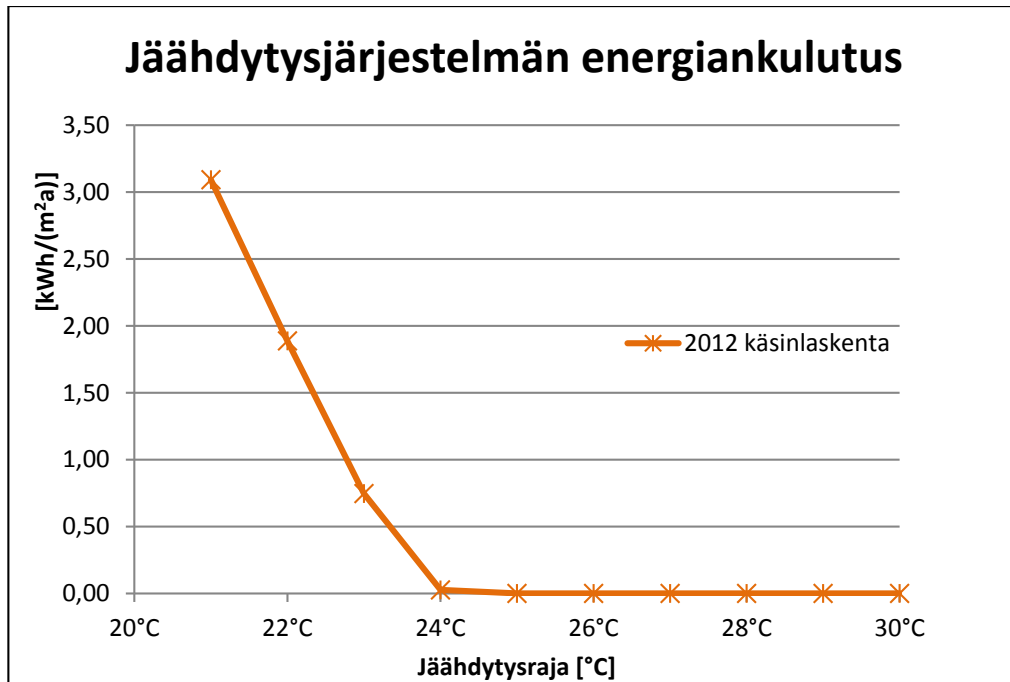
Sähköllä lämmitetty rakennus saa kääntämisen jälkeen E-luvun 161 kWh/(m<sup>2</sup>a). E-luku ei siis ole muuttunut kääntämisen seurauksena. Tarkalleen kokonaisenergiankulutus on kasvanut vain 0,04 kWh/(m<sup>2</sup>a) verrattaessa perustapaukseen.

Sisäiset lämpökuormat eivät paljoa muuttuneet, joten jäähdytysenergiatkaan eivät paljoa muutu. Kaukolämmitetyn käännetyn pientalon käsinlasketut jäähdytyksen energiankulutukset on esitetty kuvassa 4.5.



Kuva 4.5. Käsinlaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Kaukolämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Tarkastelu on tehty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.

Kuvia 4.5 ja 4.1 verrattaessa nähdään, että rakennuksen kääntäminen ei vaikuttanut jäähdytykseen kuluvaan energiaan yhtään. Sekä ennen että jälkeen rakennuksen kääntämisen jäähdytysjärjestelmän energiankulutus oli 2,25 kWh/(m<sup>2</sup>a), kun jäähdytysraja oli 21 °C. Kuvassa 4.6 nähdään sähköllä lämmitetyn käännetyn pientalon käsinlasketut jäähdytyksen energiankulutukset.



Kuva 4.6. Käsinlaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Sähköllä lämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Tarkastelu on tehty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.

Jäähdytysrajan ollessa 21 °C, on jäähdytysjärjestelmän energiankulutus käännetyllä sähköllä lämmitetyllä talolla 3,09 kWh/(m²a). Sama arvo oli kääntämättömällä pientalolla. Rakennuksen kääntäminen ei siis vaikuttanut jäähdytykseen kuluvaan energiaan.

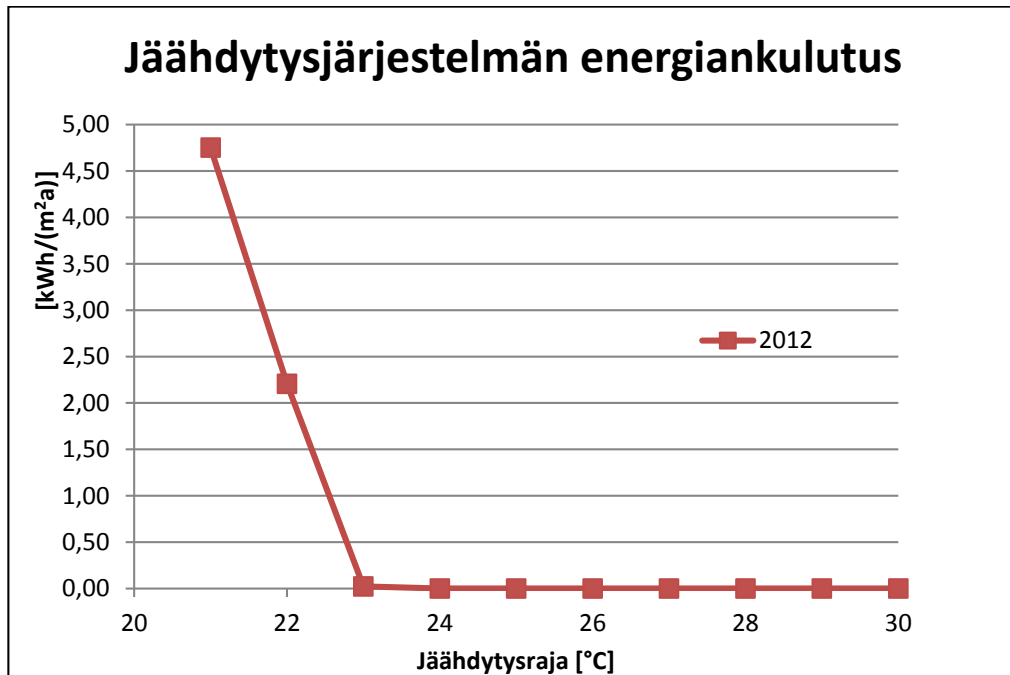
#### 4.1.4 Ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykertoimen korottamisen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen

Tässä tutkittavassa tapauksessa ikkunoiden valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykertoimen  $g$  arvo on 0,61. Alkuperäisessä pientalossa ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin  $g$  oli arvoltaan 0,32. Kaukolämmitetyllä rakennuksella käsinlaskettu E-luku on nyt 148 kWh<sub>E</sub>/(m²a). E-luku on siis 6 kWh<sub>E</sub>/(m²a) pienempi kuin perustapauksessa. Tämä johtuu siitä, että ikkunoiden läpäisykertoimen arvon suurentamisen seurauksena rakennukseen tulee auringonsäteilyn mukana enemmän lämpökuormaa. Lämmitykseen siis kuluu vähemmän energiaa. Kokonaisenergiankulutuksen pienentyminen koostuu ainoastaan lämmitystarpeen pienentymisestä.

Sähköllä lämmitetyn pientalon E-luku on 151 kWh<sub>E</sub>/(m²a), kun  $g$ :n arvo on 0,61. Kokonaisenergiankulutus on siis pienentynyt 10 kWh<sub>E</sub>/(m²a) kun verrataan perustapaukseen. Muutos on suurempi kaukolämmitykseen verrattuna koska sähköön energiamuotokerroin on 1,7. E-luvussa lämmitysenergian säästö näkyy sähköä lämmitysmuotona käytettäessä merkittävänä parannuksena.

Auringon kokonaissäteilyn läpäisykertoimen suurentaminen kasvattaa sisälle syntyvää lämpökuormaa. Auringon säteilyenergiaa pääsee enemmän sisälle rakennukseen, jolloin jäähdytykseen kuluu siis enemmän energiaa. Kaukolämmitetyn rakennuk-

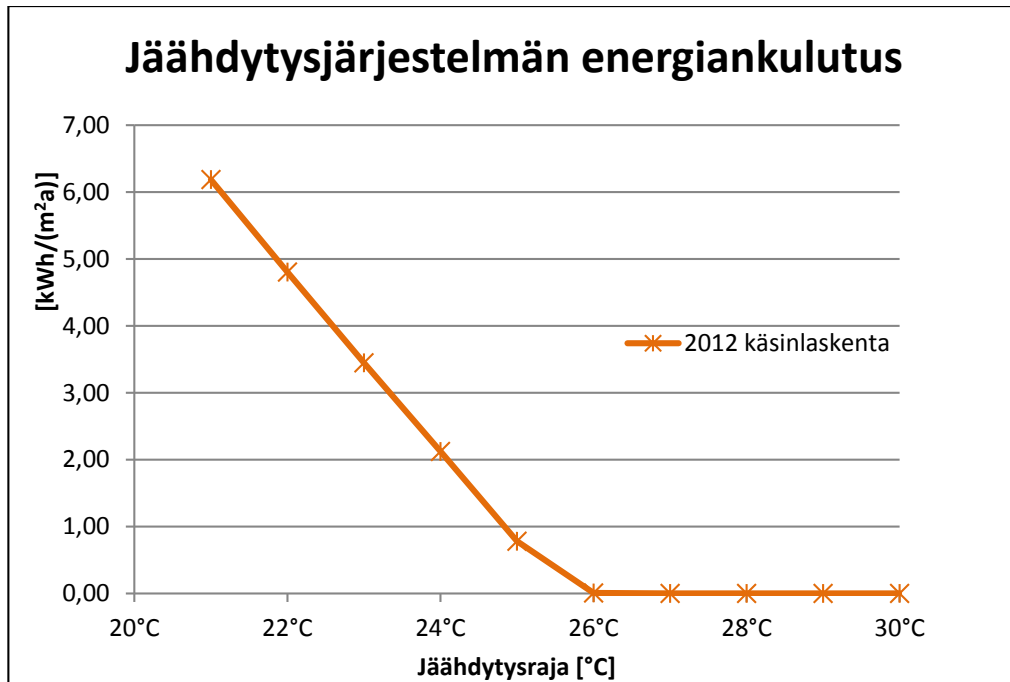
sen jäähdytyksen energiankulutukset eri jäähdytysrajan arvoilla on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 4.7. Käsinlaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Kaukolämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ). Tarkastelu on tehty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.

Jäähdytysrajan 21 °C kanssa jäähdytysjärjestelmän energiankulutus on kaukolämmite-  
tyllä talolla 4,75 kWh/(m²a). Tämä arvo on siis kaksinkertaistunut perustapaukseen ver-  
rattuna. Jäähdytysrajalla 23 °C ei jäähdytykseen kulu energiaa kuin 0,02 kWh/(m²a).  
Sähköllä lämmitetyn muutetun g-arvon omaavan rakennuksen jäähdytykseen kuluneet  
energiat on esitetty kuvassa 4.8.





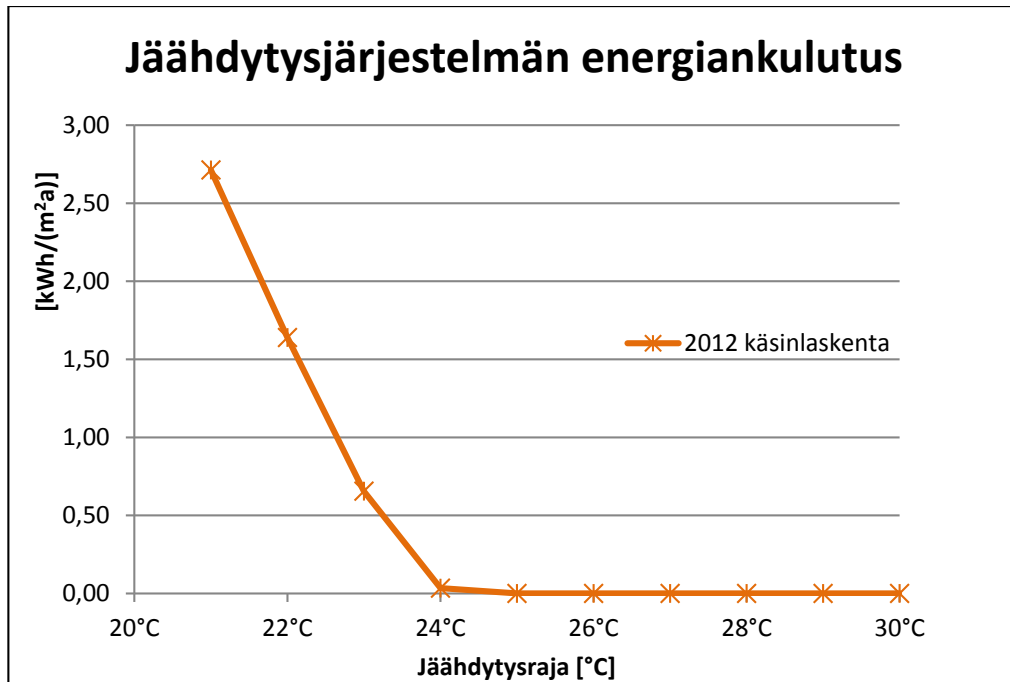
Kuva 4.8. Käsinelaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Sähköllä lämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ). Tarkastelu on tehty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.

Jäähdytysrajan ollessa 21 °C, on jäähdytysjärjestelmän energiankulutus sähköllä lämmitetyllä talolla 6,19 kWh/(m²a). Perustapaukseen verrattuna tämä arvo on kaksinkertaistunut. Nyt 25 °C:een jäähdytysrajallakin jäähdytykseen kului käsinelaskennan mukaan energiaa 0,78 kWh/(m²a). Ikkunoiden auringon kokonaissäteilyn läpäisykertoimen kasvattaminen vaikuttaa siis jäähdytyksen määrään suuresti.

#### 4.1.5 Energiatohokkuusluokka B:n saavuttamisen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen

Energiatohokkuusluokka B:n yläraja on 140 kWh<sub>E</sub>/(m²a) tutkittavalla pientalolla. B-luokka on pyritty saavuttamaan sähköllä lämmitetyllä talolla. Kaukolämmitettyä rakennusta ei ole tutkittu. Eristyspaksuuden lisääminen suurentaa lämpökuormaa, mutta lämpimän käyttöveden kiertojohdon eristystason parantaminen alentaa lämpökuormaa. Käsinelaskennan mukaan sähköllä lämmitetty rakennus saa E-luvun, jonka arvo on 140 kWh<sub>E</sub>/(m²a).

Jäähdytykseen kuluva energia on laskettu sähköllä lämmitetylle talolle B-energiatohokkuusluokan asetuksilla. Jäähdytysjärjestelmän kuluttamat energiat on esitetty kuvassa 4.9.



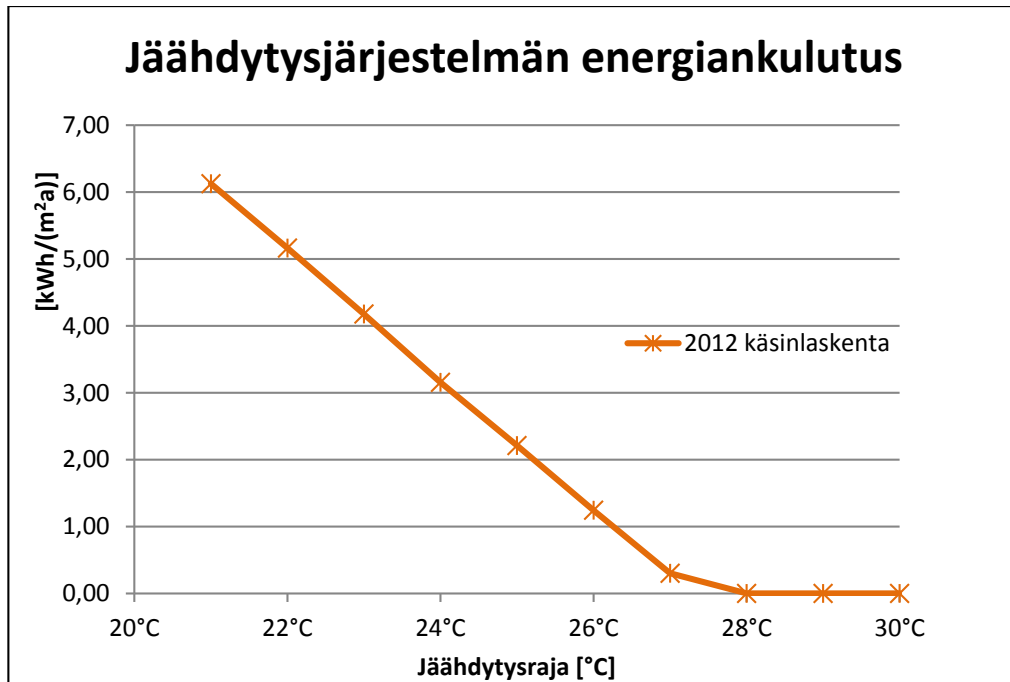
Kuva 4.9. Käsinlaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin B-energiatehokkuusluokan raja käsinlaskennassa (140 kWh<sub>E</sub>/(m²a)). Tarkastelu on tehty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.

B-energiatehokkuusluokan asetuksilla jäähdytystarve on pienempi kuin perustapauksella. Tämä johtuu siitä, että lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviötä on pienennetty ja näin ollen rakennukseen sisälle tuleva lämpökuorma on pienentynyt. Nyt jäähdytysrajalla 21 °C jäähdytykseen kuluvan energian arvo on 2,71 kWh/(m²a). Jäähdytysrajaa 24 °C käyttäessä jäähdytykseen kuluu energiaa käsinlaskennan mukaan 0,03 kWh/(m²a).

#### 4.1.6 Energiatehokkuusluokka A:n saavuttamisen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen

Energiatehokkuusluokan A yläraja on 85 kWh<sub>E</sub>/(m²a) tutkittavalla pientalolla. Käsinlaskennassa on sähköllä lämmitettyyn rakennukseen tehty tarvittavat muutokset. Muutoksia on tehty paljon. Rakennus on muun muassa tehty täyttämään passiivitalon vaatimukset. Käsinlaskennan mukaan sähköllä lämmitetty rakennus saa E-luvun, joka on suuruudeltaan 85 kWh<sub>E</sub>/(m²a).

Osa tehdyistä muutoksista laskee rakennuksen sisäistä lämpökuormaa ja osa taas suurentaa sitä. Jotkut muutoksista pienentävät lämmön karkaamista rakennuksesta. Osa muutoksista siis vähentää jäähdytystarvetta ja osa kasvattaa sitä. Jäähdytykseen kuluvat energiat on A-energiatehokkuusluokan asetuksilla sähköllä lämmitetyllä rakennuksella esitetty kuvassa 4.10.



Kuva 4.10. Käsinlaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin A-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (85 kWh<sub>E</sub>/(m²a)). Tarkastelu on tehty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.

Jäähdytysrajan ollessa 21 °C, on jäähdytysjärjestelmän energiankulutus A-energiatohokkuusluokan asetuksilla sähköllä lämmitetyllä talolla 6,13 kWh/(m²a). Jäähdytystä tarvitaan vielä jäähdytysrajan ollessa 27 °C. Nähdään, että näiden rajojen välillä jäähdytykseen kuluvan energian käyrä on suora.

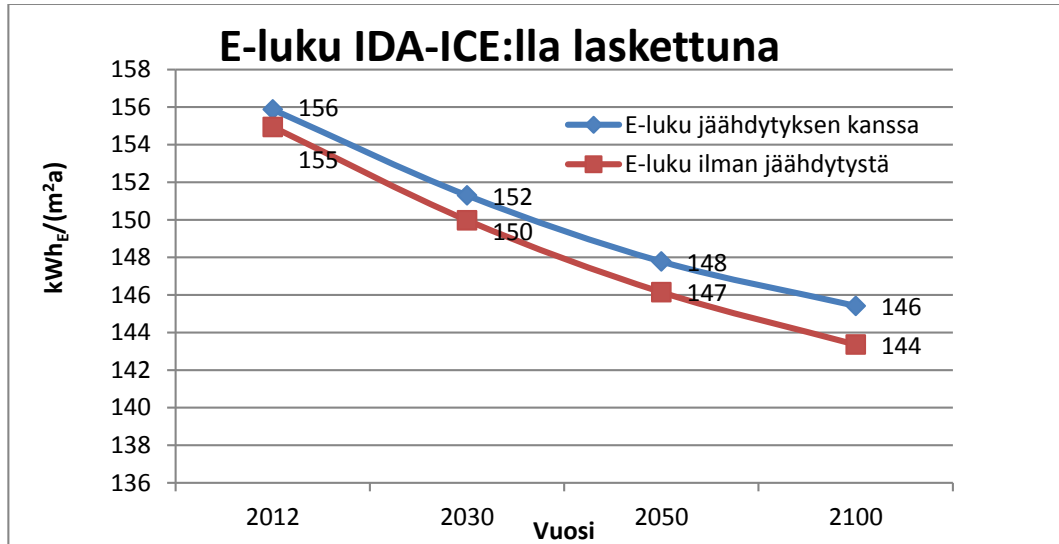
## 4.2 IDA-ICE-laskennan tulokset

IDA-ICE-ohjelmalla on suoritettu laskenta samoista tutkittavan rakennuksen variaatioista kuin käsinlaskennallakin. Lisäksi IDA-ICE:lla on suoritettu laskenta tulevaisuuden testivuosilla. Tarkempia taulukoita ja tuloksia ohjelman simuloinneista on esitetty liitteissä. Liitteissä on myös esitetty Natalia Kajavan kandidaatintyön, Uusien energiamääräysten täyttäminen suoraa sähkölämmitystä käyttävissä pientaloissa (2012), mukaisilla asetuksilla varustetun rakennuksen E-luvut ja jäähdytyksen energiankulutukset. Liitteessä 2 on taulukoita E-luvun IDA-ICE-laskennan tuloksista. Liitteestä 4 löytyy taulukoita IDA-ICE:n laskemista koneellisen jäähdytyksen energiankulutuksen tuloksista. Liitteessä 7 on esitetty esimerkkituloste IDA-ICE:n tuloksista.

### 4.2.1 Perustapauksen kokonaisenergiankulutus ja jäähdytystarve IDA-ICE:ssä

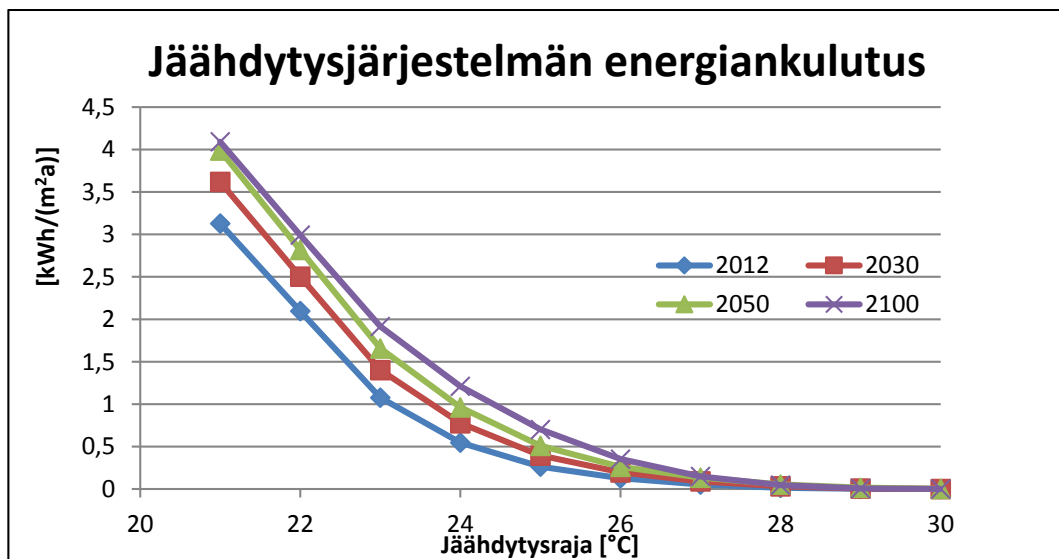
Esitetään IDA-ICE:lla lasketut kokonaisenergiankulutuksen ja jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen tulokset kaukolämmitetyn ja sähköllä lämmitetyn pientalon perustapauksista. Kaukolämmitetyllä rakennuksella päästään E-lukuun 155 kWh<sub>E</sub>/(m²a) TRY2012 säätietoja käytettäessä. Kuvassa 4.11 on esitetty E-luvut laskettuna TRY2012,

TRY2030, TRY2050 ja TRY2100 testivuosilla. Kuvassa on oma käyrä E-luvulle jäähdyttämättömällä rakennuksella ja jäähdytetyllä rakennuksella, kun jäähdytysraja on 24 °C:een suuruinen. E-luvut on pyöristetty ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun, kuten tulee tehdä energiatehokkuusluokkaa määritettäessä.



Kuva 4.11. IDA-ICE:lla määritetyt E-luvut TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, perustapaus. Käyrällä "E-luku jäähdytyksen kanssa" on käytetty jäähdytysrajaa 24 °C. E-luvut on pyöristetty ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun.

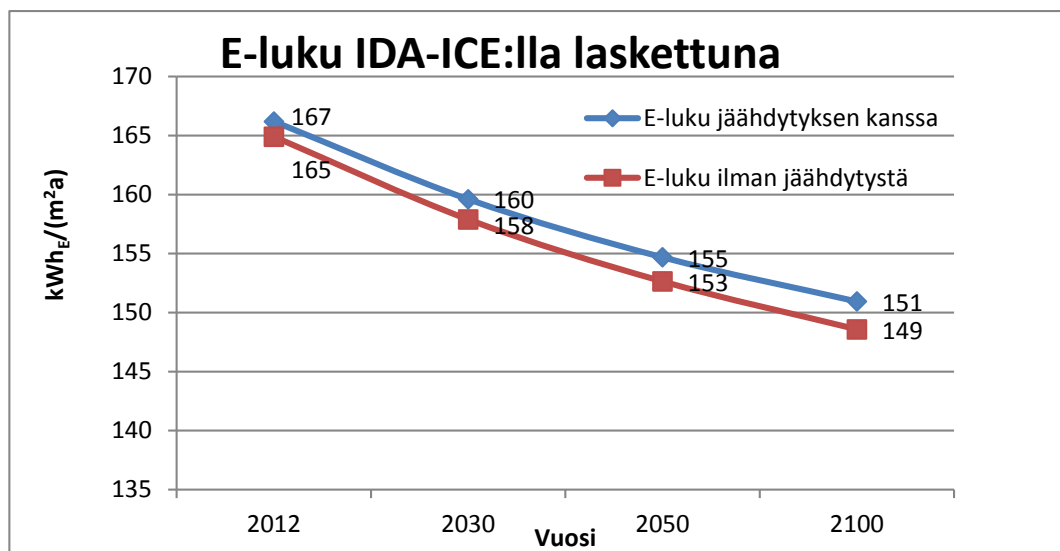
Laskennan mukaan kaukolämmitetyn talon kokonaisenergiankulutus laskee tulevaisuudessa, vaikka jäähdytys otettaisiinkin huomioon. E-luvun arvo alenee 11 kWh<sub>E</sub>/(m²a) vuodesta 2012 vuoteen 2100. Seuraavassa kuvassa 4.12 on esitetty kaukolämmitetyn talon jäähdytysjärjestelmän vuosittaiset energiankulutukset neliometriä kohden eri jäähdytysrajoilla. Kaikille IDA-ICE-simuloinnissa käytetyille testivuosille on omat käyränsä kuvassa.



Kuva 4.12. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, perustapaus. Tarkastelu on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.

Vuoden 2012 jäähdytysjärjestelmän energiankulutus on kaukolämmitetyllä talolla muita alempana jokaisella jäähdytysrajan arvolla. Prosentuaalisesti suurimmat erot testivuosi-  
sien välillä ovat jäähdytysrajan ollessa suuri, eli yli 24 °C. Erot tasoittuvat prosentuaali-  
sesti jäähdytysrajan alentuessa. Absoluuttisella erolla (kWh/(m<sup>2</sup>a)) on energiankulutuk-  
sen kannalta ehkä kuitenkin suurempi merkitys kuin prosentuaalisella erolla. Varsinkin  
silloin kun energiankulutukset ovat pieniä. Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus kas-  
vaa jäähdytysrajan arvolla 21 °C melko tasaisesti vuoteen 2050 asti. Vuonna 2100 kulu-  
tus ei enää kasva yhtä paljoa kuin edellisinä vuosina jäähdytysrajan ollessa matala.  
Vuosien 2100 ja muiden testivuosien simulointien välillä ei ollut muuta eroa kuin sää-  
tiedosto. Testivuodella TRY2100 on alempi suoran auringonsäteilyn arvo. Vaikka läm-  
pötila on suurempi vuonna 2100, niin alempi auringon säteilyn arvo laskee tarvittavaa  
jäähdytystehoa. Jäähdytyskäyrä nousee kutakuinkin eksponentiaalisesti, kun jäähdytys-  
rajaa alennetaan. Käsinelaskennassa tämä käyrä oli sen sijaan suora.

Sähköllä lämmitetyn rakennuksen perustapaus saa IDA-ICE-laskennassa E-  
luvun 165 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) TRY2012 säätietoja käytettäessä. Kuvassa 4.13 on esitetty E-  
luvut kaikilla tutkituilla testivuosilla.

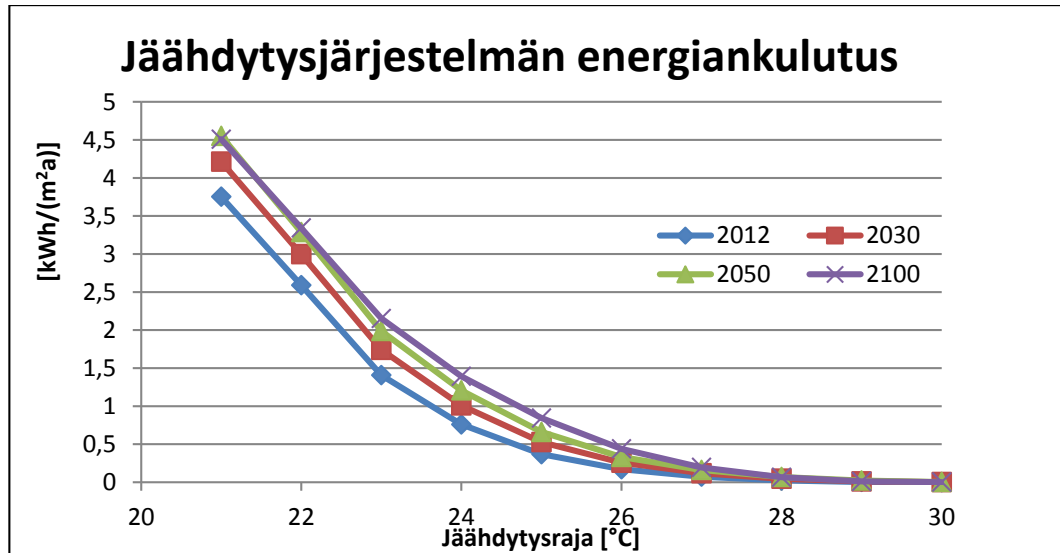


Kuva 4.13. IDA-ICE:lla määritetyt E-luvut TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. Käyrällä "E-luku jäähdytyksen kanssa" on käytetty jäähdytysrajaa 24 °C. E-luvut on pyöristetty ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun.

Sähköllä lämmitetyn rakennuksen perustapauksen kokonaisenergiankulutus laskee si-  
muloinnin mukaan tulevaisuuteen mentäessä. Lasku kuitenkin loivenee aina testivuoi-  
sien välillä. IDA-ICE-ohjelmassa ei ole mallinnettu lisälämmitysjärjestelmiä eikä aurin-  
koenergiajärjestelmiä. Ne on otettu laskentaan mukaan kun IDA-ICE:n simuloimat tu-  
lokset on siirretty Excel-ohjelmaan. Siellä suunnitellut lisäenergian hyödyntämismäärät  
on vähennetty IDA-ICE:n vastaavien järjestelmien energiatarpeista. Lisälämmitysjärjes-  
telmien energiat on lisätty energiamuodon mukaisilla kertoimilla kokonaisenergiankulu-  
tukseen. Lisälämmitys toteutettiin varaavalla takalla ja ilma-ilmalämpöpumpulla. Lisäk-  
si aurinkoenergialla lämmitettiin käyttövettä. Ennen näiden lisäjärjestelmien lisäämistä

IDA-ICE laski sähköllä lämmitetylle rakennukselle E-luvun 211 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Lisälämmitysjärjestelmillä saatiin siis alennettua E-lukua 46 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a).

Seuraavassa kuvassa on esitetty sähköllä lämmitetyn talon jäähdytysjärjestelmän vuosittaiset energiankulutukset. Myös tulevaisuuden testivuosien simuloinneilla saadut tulokset on esitetty kuvassa.

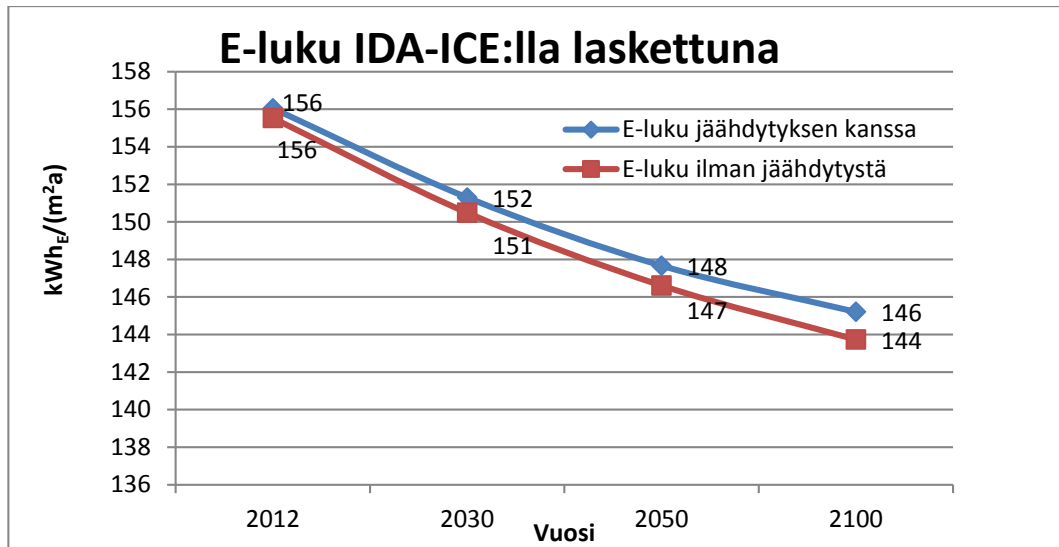


Kuva 4.14. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. Tarkastelu on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.

Sähköllä lämmitetyn rakennuksen perustapauksen jäähdytysjärjestelmän energiankulutus on testivuoden 2012 tiedoilla muita testivuosia alhaisempi kaikilla jäähdytysrajan arvoilla. Kulutus jäähdytysrajan arvolla 21 °C on 3,13 kWh/(m<sup>2</sup>a), mikä on kokonaisuudessaan 434 kWh/a. Prosentuaalisesti suurimmat erot testivuosien välillä ovat nytkin jäähdytysrajan ollessa vähän korkeampi, eli yli 24 °C. Erot tasoittuvat prosentuaalisesti jäähdytysrajan alentuessa. Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus kasvaa jäähdytysrajan arvolla 21 °C eniten vuosien 2012 ja 2030 välillä. Vuodesta 2050 vuoteen 2100 kulutus alenee jäähdytysrajan ollessa 21 °C. Tämä johtuu testivuoden TRY2100 alemmasta suoran auringonsäteilyn arvosta. Jäähdytysrajan ollessa korkeampi, suurimmat kulutukset saadaan kuitenkin testivuoden 2100 tiedoilla.

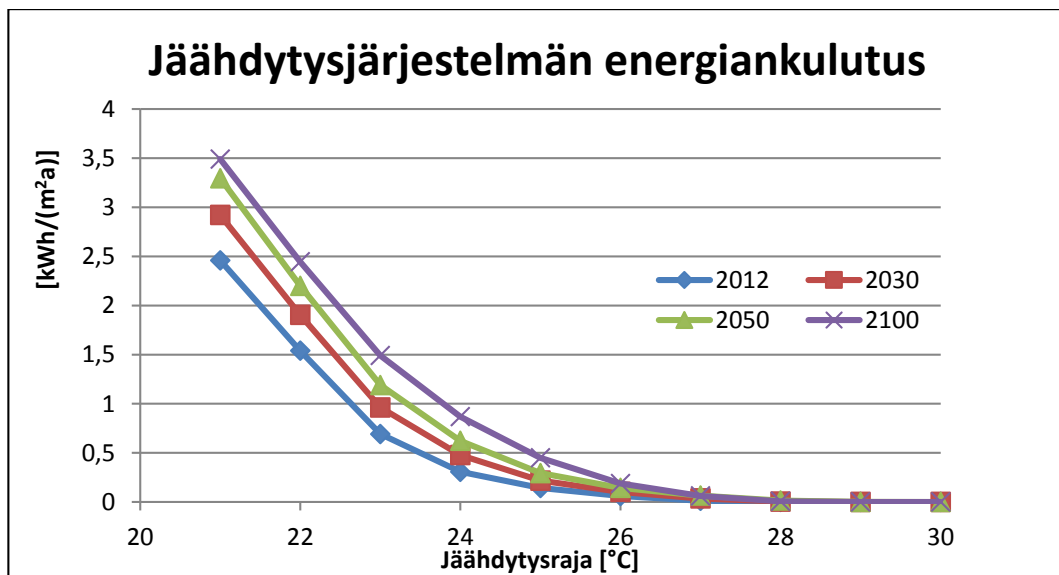
#### 4.2.2 Verhojen käytön vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytistarpeeseen IDA-ICE:ssa

Rakennuksen ikkunoissa on vaaleat kaihtimet lasien välissä touko-syyskuussa. Perustapauksessa verhoja ei ollut lainkaan käytössä. Kaukolämmitetyllä rakennuksella vuoden 2012 säätiedoilla saadaan verhojen kanssa nyt IDA-ICE:lla E-luku 156 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Seuraavassa kuvassa nähdään lasketut E-luvut muillakin testivuosilla.



Kuva 4.15. IDA-ICE:lla määritetyt E-luvut TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Käyrällä "E-luku jäähdytyksen kanssa" on käytetty jäähdytysrajaa 24 °C. E-luvut on pyöristetty ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun.

Kokonaisenergiankulutus laskee simuloinnin mukaan 5 kWh<sub>E</sub>/(m²a) vuosien 2012 ja 2030 välillä. Vuosien 2030 ja 2050 välillä lasku on 4 kWh<sub>E</sub>/(m²a). Vuosien 2050 ja 2100 välillä lasku on 3 kWh<sub>E</sub>/(m²a). Seuraavassa kuvassa on esitetty kaukolämmitetyn talon jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset.

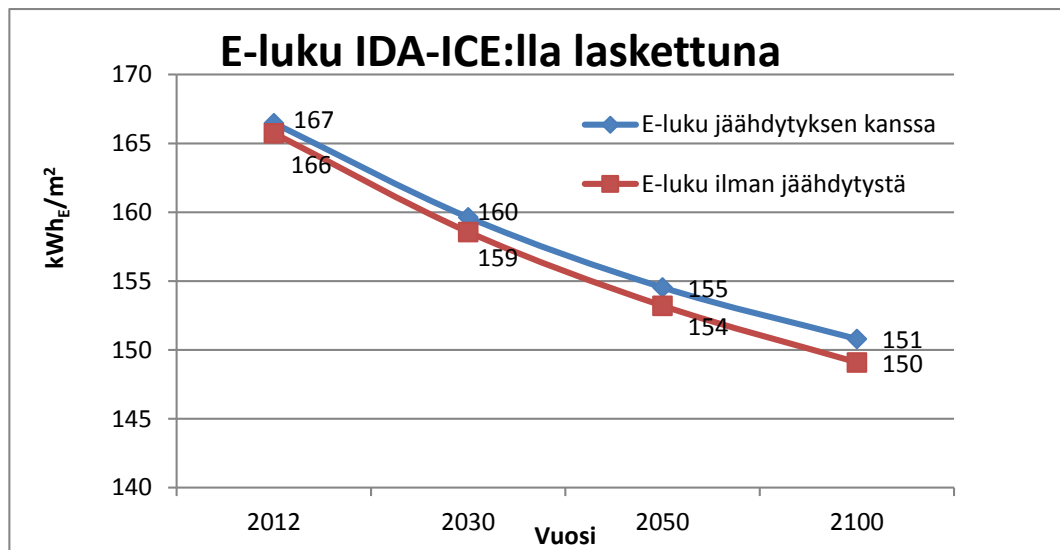


Kuva 4.16. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Tarkastelu on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.

Kaukolämmitetyn verhot sisältävän rakennuksen vuoden 2012 jäähdytysjärjestelmän energiankulutus on muita alempana jokaisella jäähdytysrajan arvolla. Vuoden 2030 kulutus on toiseksi alhaisin jokaisella jäähdytysrajan arvolla. Prosentuaalisesti suurimmat erot testivuosien välillä ovat tässäkin tapauksessa kun jäähdytysraja on yli 24 °C. Jääh-

dytysjärjestelmän energiankulutus kasvaa jäähdytysrajan arvolla 21 °C eniten vuosien 2012 ja 2030 välillä. Vuoden 2100 kulutus on IDA-ICE:n mukaan 3,49 kWh/(m<sup>2</sup>a) ja vuoden 2050 kulutus 3,30 kWh/(m<sup>2</sup>a). Vuoden 2012 kulutukseksi saatiin 2,46 kWh/(m<sup>2</sup>a). Jäähdytysrajan arvolla 28 °C ei juuri tapahdu jäähdytystä minkään testivuoden tuloksien mukaan.

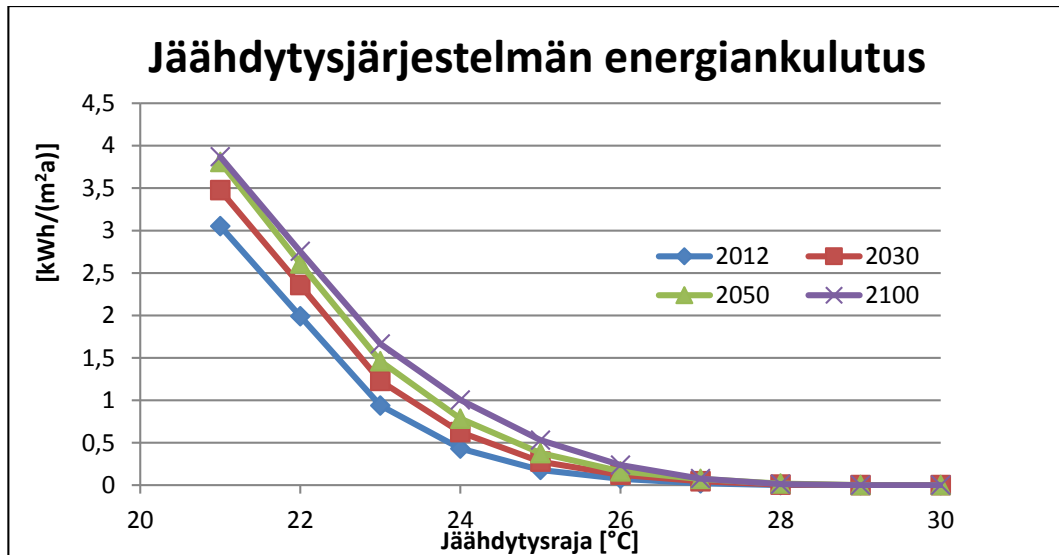
Sähköllä lämmitetyllä rakennuksella vuoden 2012 säätiedoilla saatiin verhojen kanssa IDA-ICE:lla E-luku 166 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Seuraavassa kuvassa on esitetty lasketut E-luvut muillakin testivuosilla.



Kuva 4.17. IDA-ICE:lla määritetyt E-luvut TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Käyrällä "E-luku jäähdytyksen kanssa" on käytetty jäähdytysrajaa 24 °C. E-luvut on pyöristetty ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun.

Kokonaisenergiankulutus alenee sähköllä lämmitetyn verhot sisältävän rakennuksen simuloinnin mukaan 7 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) vuosien 2012 ja 2030 välillä. Vuosien 2030 ja 2050 välillä lasku on 5 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Vuosien 2050 ja 2100 välillä E-luku alenee 4 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) päätyen vuoden 2100 kokonaisenergiankulutukseen 150 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Seuraavassa kuvassa on esitetty tämän verhoilla varustetun sähköllä lämmitetyn talon jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset.



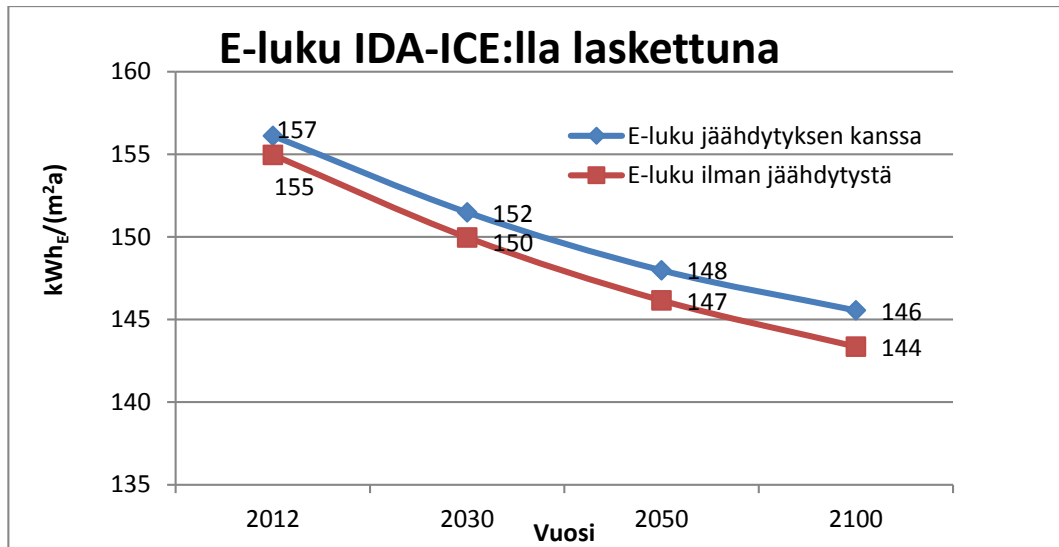


Kuva 4.18. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Tarkastelu on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.

Sähköllä lämmitetyn rakennuksen vuoden 2012 jäähdytysjärjestelmän energiankulutus on muita alempana jokaisella jäähdytysrajan arvolla. Verhojen käyttö on vaikuttanut yllättävän vähän jäähdytystarpeeseen. Verhojen kanssa TRY2012-säätiedostolla saatu jäähdytysjärjestelmän energiankulutukseksi saatiin 3,05 kWh/(m²a), kun vastaava arvo ilman verhoja oli 3,75 kWh/(m²a). Vuoden 2030 kulutus on IDA-ICE:n mukaan verhojen kanssa 3,48 kWh/(m²a), vuoden 2050 kulutus 3,81 kWh/(m²a) ja vuoden 2100 kulutus 3,87 kWh/(m²a).

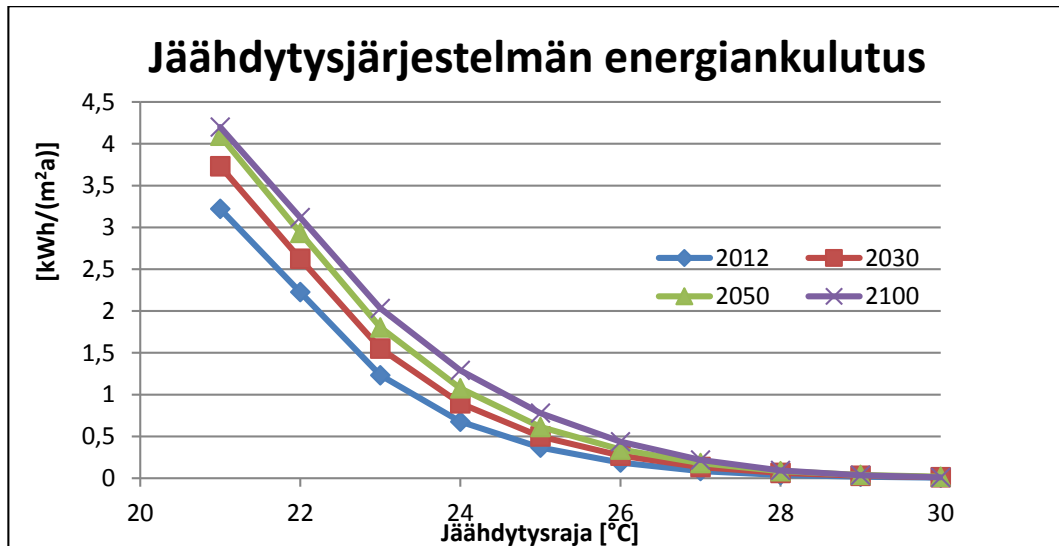
#### 4.2.3 Rakennuksen kääntämisen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen IDA-ICE:ssa

Tutkittavaa pientaloa on käännetty 180 astetta. Muita eroavaisuuksia ei perustapaukseen verrattuna ole. Kaukolämmitetylle rakennukselle saadaan IDA-ICE:lla sama E-luku kuin perustapauksella eli 155 kWh<sub>E</sub>/(m²a). Ilmansuuntaakohtaiset ikkunapinta-alat eivät juuri muuttuneet, ja tästä syystä kokonaisenergiankulutukseen ei muuttunut. Seuraavassa kuvassa nähdään E-luvut tulevaisuuden testivuosillakin laskettuna.



Kuva 4.19. IDA-ICE:lla määritetyt E-luvut TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Käyrällä "E-luku jäähdytyksen kanssa" on käytetty jäähdytysrajaa 24 °C. E-luvut on pyöristetty ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun.

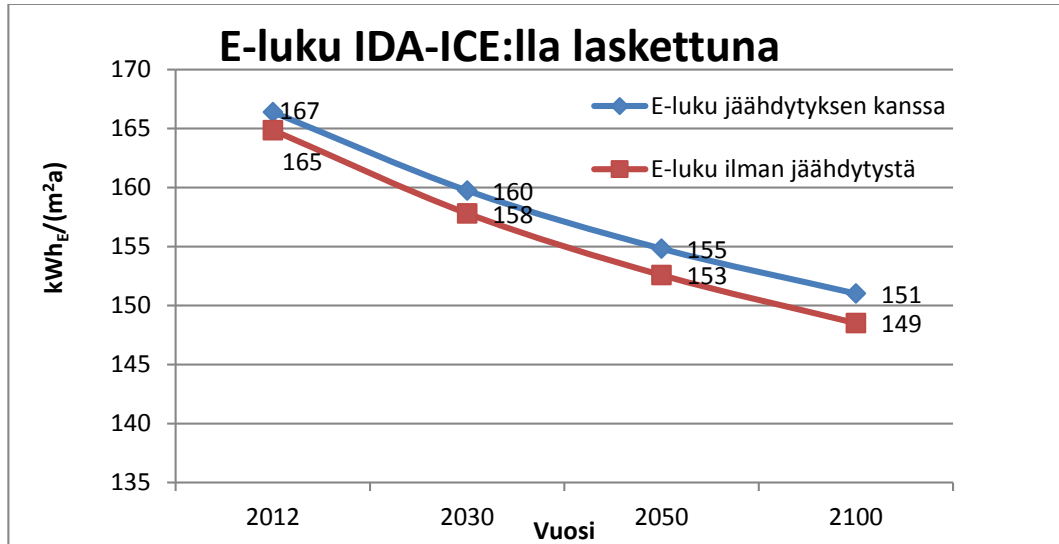
Kuvasta nähdään, että kaukolämmitetyn rakennuksen E-luvut ovat tulevaisuuden testi-vuosillakin samat kuin ne olivat perustapauksellakin. Kaukolämmitetyn käännetyn pientalon IDA-ICE:lla lasketut jäähdytyksen energiankulutukset on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 4.20. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Tarkastelu on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.

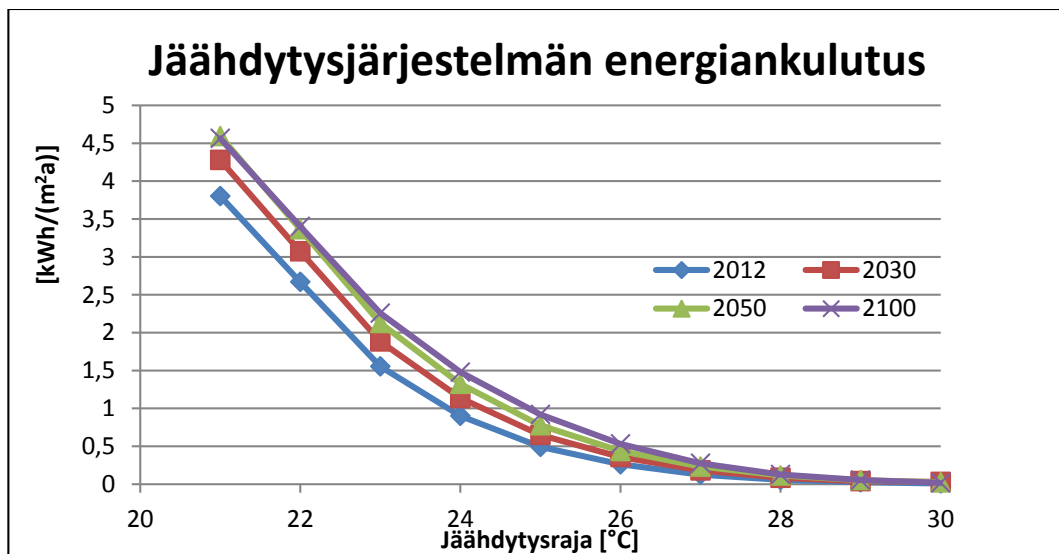
Rakennuksen kääntäminen ei IDA-ICE-simuloinnin mukaan vaikuttanut juurikaan jäähdytykseen kuluvaan energiaan. Pientä kasvua on kuitenkin tapahtunut. Kasvu on kuitenkin vain parin prosentin luokkaa alimmilla jäähdytysrajan arvoilla.

Sähköllä lämmitetty käännetty rakennus saa E-luvun 165 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) säätiedostoa TRY2012 käytettäessä. Se on sama arvo kuin perustapauksen sähköllä lämmitetyllä talolla. Muidenkin testivuosien kokonaisenergiankulutukset IDA-ICE-laskennasta on esitetty kuvassa 4.21.



Kuva 4.21. IDA-ICE:lla määritetyt E-luvut TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Käyrällä "E-luku jäähdytyksen kanssa" on käytetty jäähdytysrajaa 24 °C. E-luvut on pyöristetty ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun.

Kuvaajasta nähdään, että käännetyn sähköllä lämmitetyn rakennuksen E-luvut ovat tulevaisuuden testivuosillakin samat kuin ne olivat perustapauksellakin. Käännetyn sähköllä lämmitetyn pientalon IDA-ICE:lla lasketut jäähdytyksen energiankulutukset on esitetty seuraavassa kuvassa.

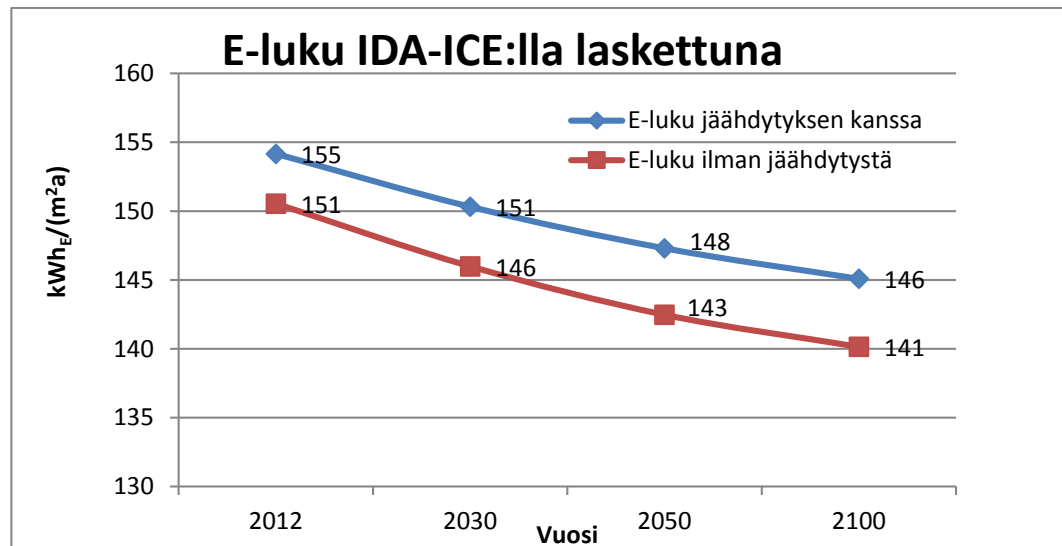


Kuva 4.22. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Tarkastelu on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.

Jäähdytysrajan ollessa 21 °C, ovat vuosien 2050 ja 2100 jäähdytysenergian kulutukset käytännössä yhtä suuret. Kun jäähdytysrajaa kasvatetaan 21 °C:sta 24 °C:seen, niin jäähdytysjärjestelmän energiankulutus laskee noin kolmasosaan. Kuvaaja ei juurikaan eroa perustapauksen vastaavasta kuvaajasta. Vuoden 2012 säätiedoilla 24 °C:ssa jäähdytysjärjestelmän energiankulutus on 0,90 kWh/(m<sup>2</sup>a) eli yhteensä 125 kWh/a.

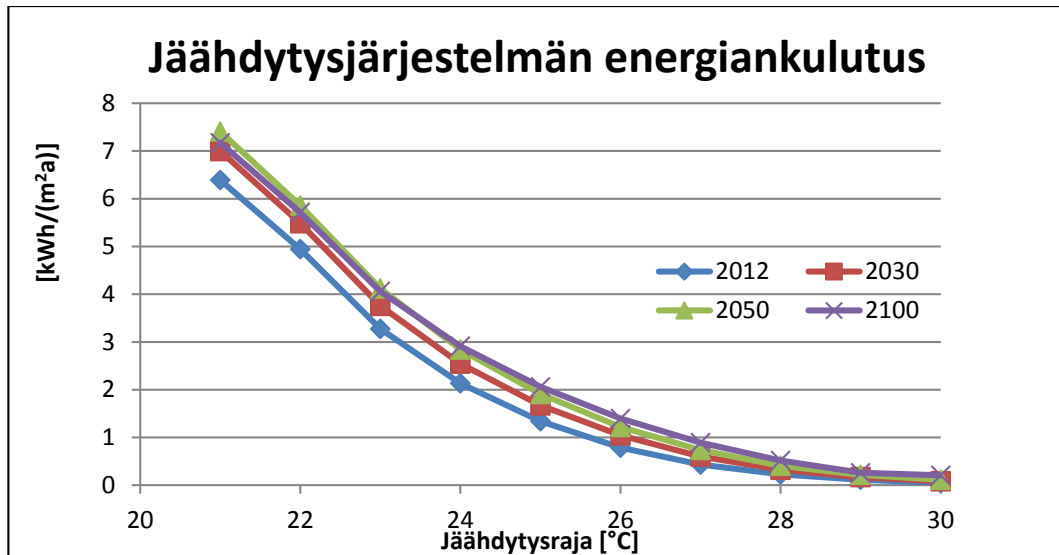
#### 4.2.4 Ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykertoimen korottamisen vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen IDA-ICE:ssa

Ikkunoiden valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykertoimen g arvoa on tässä tutkittavassa tapauksessa korotettu arvosta 0,32 arvoon 0,61. IDA-ICE-laskennassa on korotettu aurinkoenergian suoraläpäisykerrointa arvosta 0,28 arvoon 0,51. Näkyvän valon läpäisyn suhde kohdistuvaan valoon on korotettu arvosta 0,59 arvoon 0,67. Kaukolämmitetyn pientalon E-luku saa IDA-ICE:lla arvon 151 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) vuoden 2012 säätiedoilla. Kuvassa 4.23 on esitetty E-luvut myös tulevaisuuden säätiedostoilla.



Kuva 4.23. IDA-ICE:lla määritetyt E-luvut TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin (g=0,61). Käyrällä "E-luku jäähdytyksen kanssa" on käytetty jäähdytysrajaa 24 °C. E-luvut on pyöristetty ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun.

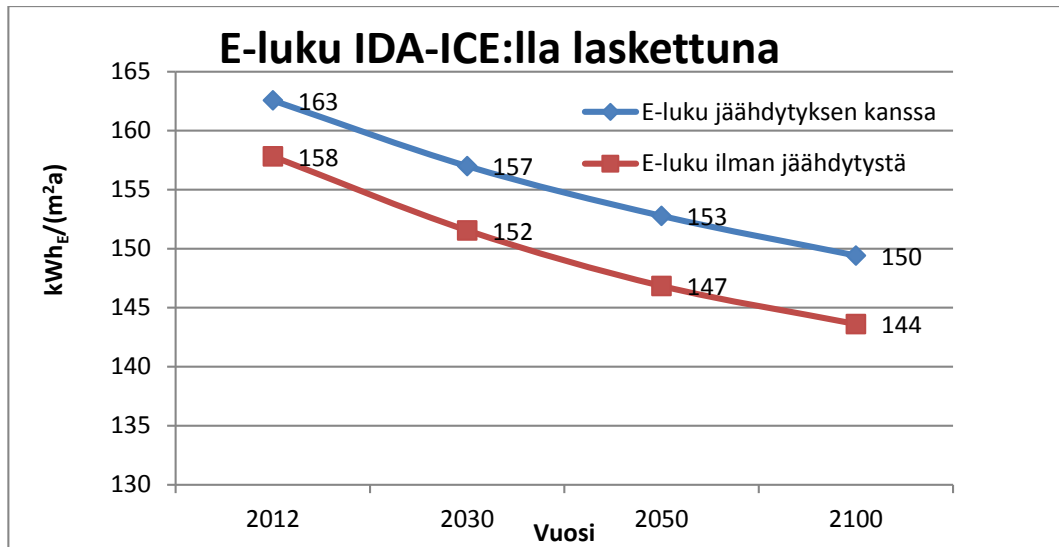
Kokonaisenergiankulutus on IDA-ICE-laskennan mukaan pienentynyt 3 - 4 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) testivuodesta riippuen kun verrataan perustapaukseen. Jos jäähdytys otetaan E-luvun laskennassa huomioon, niin muutos on paljon pienempi. Lämmittämiseen kuluva energia on laskenut ja jäähdyttämiseen kuluva energia on kasvanut. Kaukolämmitetyn rakennuksen jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset on esitetty testivuosittain kuvassa 4.24.



Kuva 4.24. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ). Tarkastelu on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.

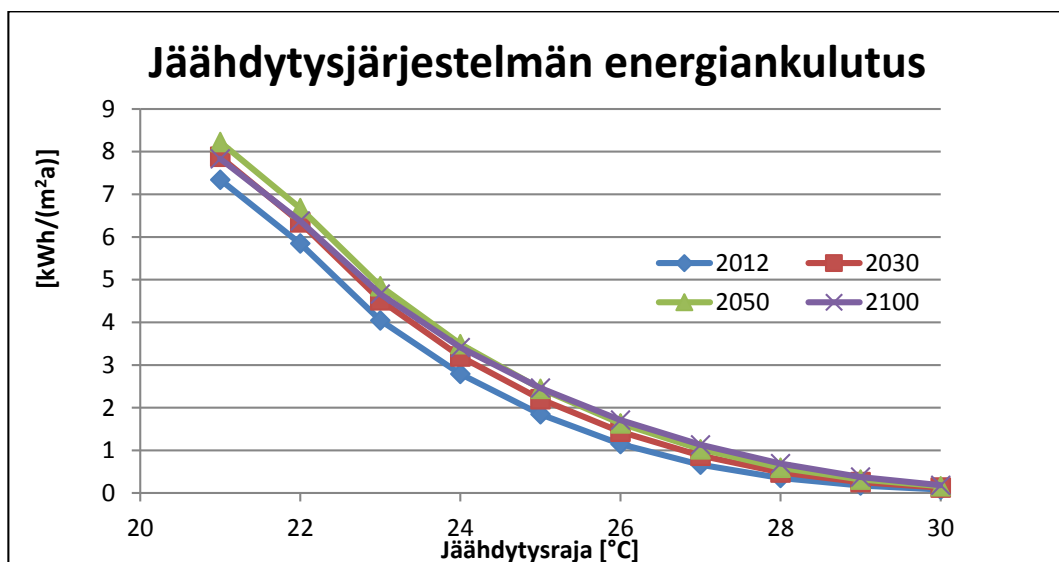
Kuvaajasta nähdään, että jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset ovat ikkunoiden auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroimen korottamisen johdosta kasvaneet. Jäähdytysrajan arvolla 21 °C, on kulutus kasvanut liki kaksinkertaiseksi. Ylemmillä jäähdytysrajan arvoilla kulutus on kasvanut jopa yli kaksinkertaiseksi. Jäähdytykseen läpäisykerroimen muutoksella on siis suuri jäähdytysenergian kulutusta kasvattava vaikutus. Lämmitykseen kuluva energia ei laskenut suhteessa läheskään yhtä paljon. Lämmityskaudella auringonsäteily on tietysti vähäisempää. Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus on jäähdytysrajalla 24 °C niinkin paljon kuin 2,13 kWh/(m²a).

Sähköllä lämmitetty rakennus, jonka ikkunoiden auringon kokonaissäteilyn läpäisykerrointa on korotettu, saa IDA-ICE-laskennalla E-luvun 158 kWh<sub>E</sub>/(m²a) säätiedostoa TRY2012 käyttäen. Seuraavassa kuvassa on esitetty E-luvut kaikilla käytetyillä testivuosilla.



Kuva 4.25. IDA-ICE:lla määritetyt E-luvut TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ). Käyrällä "E-luku jäähdytyksen kanssa" on käytetty jäähdytysrajaa 24 °C. E-luvut on pyöristetty ylöspäin seuraavaan kokonaislu-kuun.

IDA-ICE-laskennan perusteella vuoden 2012 säätiedostolla laskettu E-luku on pienentynyt 7 kWh<sub>E</sub>/(m²a) verrattaessa perustapaukseen. Jos jäähdytys otetaan E-luvun laskennassa huomioon, niin E-luku on laskenut vain 4 kWh<sub>E</sub>/(m²a). Tulevaisuuden säätiedostoillakin muutos on samankaltainen. Sähköllä lämmitetyn rakennuksen jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset on esitetty testivuositain kuvassa 4.26.



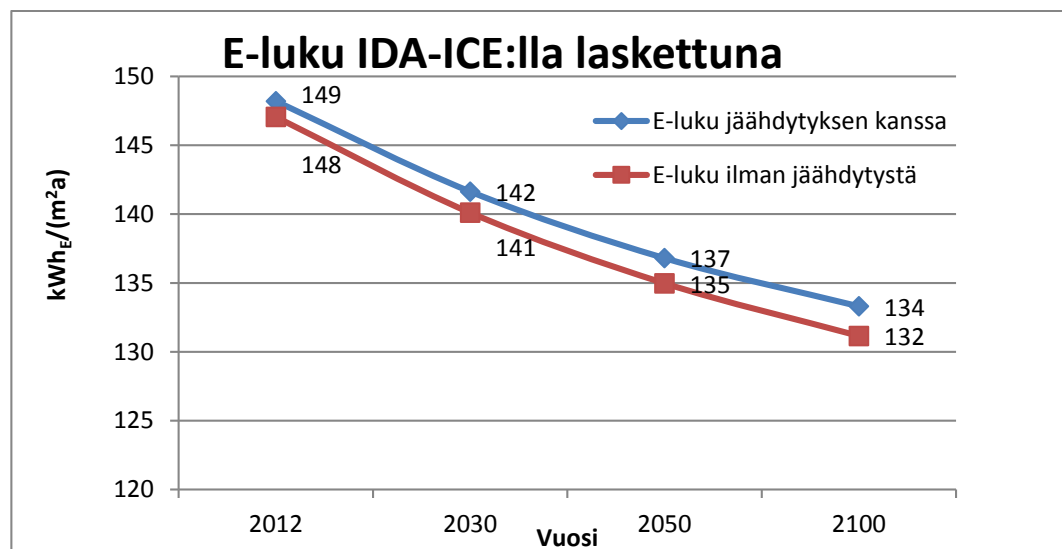
Kuva 4.26. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ). Tarkastelu on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.

Kuvasta nähdään, että jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset ovat ikkunoiden aurin-  
gon kokonaissäteilyn läpäisykertoimen korottamisen seurauksena kasvaneet. Kuten  
kaukolämmitetylläkin rakennuksella, myös sähköllä lämmitetyn rakennuksen jäähdy-

tykseen kulunut energia on noin kaksinkertaistunut verrattaessa perustapaukseen. Jopa jäähdytysrajan arvolla 30 °C tapahtuu jäähdytystä. Se on kuitenkin vähäistä. Vuoden 2012 säätiedoilla 21 °C:een jäähdytysrajalla jäähdytysjärjestelmät kuluttavat energiaa 7,34 kWh/(m<sup>2</sup>a), mikä tarkoittaa kokonaiskulutusta 1018 kWh/a. Tällä tutkintatapauksella saatiin siis ensimmäistä kertaa 1000 kWh:n raja rikki.

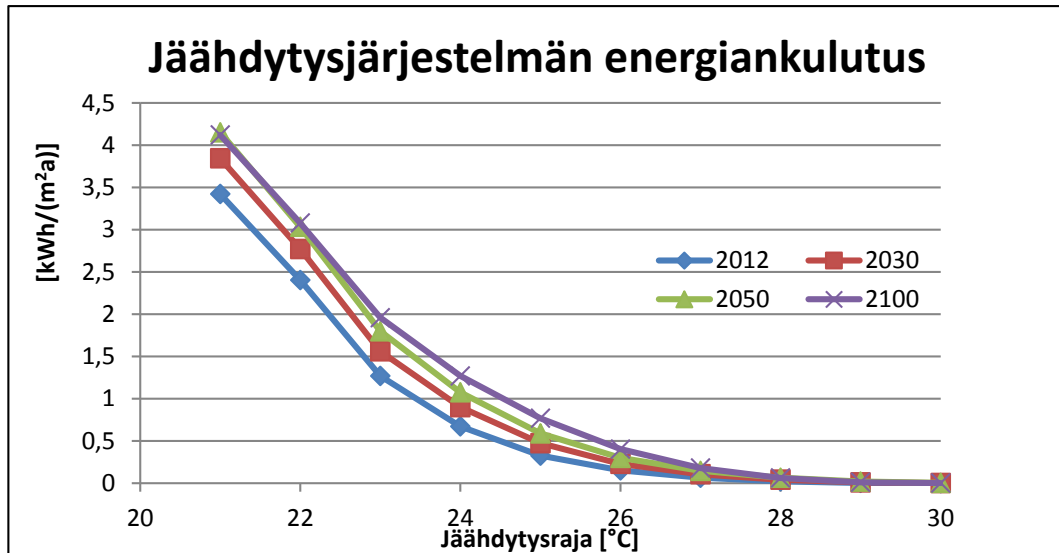
#### 4.2.5 Käsinlaskennalla saavutetun energiatehokkuusluokka B:n asetusten vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen IDA-ICE:ssa

Energiatehokkuusluokka B:n yläraja 140 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) saavutettiin käsinlaskennalla. Samat muutokset tehtiin IDA-ICE-ohjelmassa sähköllä lämmitetylle rakennukselle. IDA-ICE:lla ei kuitenkaan saavutettu B-energiatehokkuusluokan rajaa sähköllä lämmitetyllä rakennuksella. E-luvuksi saatiin 148 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Lämmitykseen kului IDA-ICE-laskennassa liikaa energiaa, jotta olisi saatu tarpeeksi alhainen E-luku. Lisäksi IDA-ICE:ssa tehtiin kokeilumielessä samat muutokset kaukolämmitettyyn ratkaisuun eli kasvatettiin lämpimän käyttöveden kiertojohdon eristyspaksuutta sekä lisättiin vaipan eristyspaksuutta. Ainoa eroavaisuus siis kaukolämmitetyn ja sähköllä lämmitetyn rakennuksen välillä oli se, että kaikki lämmitys hoidettiin kaukolämmöllä ensiksi mainitussa vaihtoehdossa. Kaukolämmitetty pientalo sai E-luvukseen 141 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Sillekin siis pitäisi tehdä joitain pieniä lisämuutoksia IDA-ICE-laskennan mukaan, jotta energiatehokkuusluokka B saavutettaisiin. Sähköllä lämmitetyn rakennuksen kaikkien testivuosien kokonaisenergiankulutukset on esitetty kuvassa 4.27.



Kuva 4.27. IDA-ICE:lla määritetyt E-luvut TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin B-energiatehokkuusluokan raja käsinlaskennassa (140 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)). Käyrällä "E-luku jäähdytyksen kanssa" on käytetty jäähdytysrajaa 24 °C. E-luvut on pyöristetty ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun.

Kokonaisenergiankulutus laskee IDA-ICE-simuloinnin mukaan siis 16 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) vuodesta 2012 vuoteen 2100 mentäessä. Jäähdytykseen kuluvat energiat on rakennuksen tälle versiolle esitetty seuraavassa kuvassa.



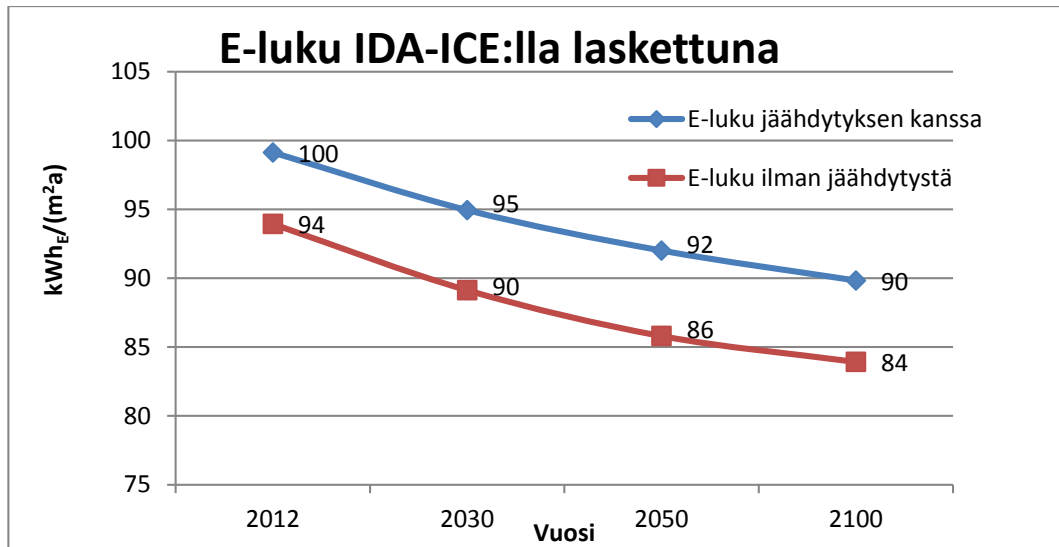
Kuva 4.28. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin B-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa ( $140 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ ). Tarkastelu on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.

Kuvaajan käyrien arvot ovat hieman pienemmät kuin perustapauksella. Pieneneminen on noin 10 %:n luokkaa. Lämpimän käyttöveden häviön pienemisen ja sitä myötä rakennuksen lämpökuorman alenemisen johdosta jäähdytykseen kuluva energia ei ole kasvanut. Se ei ole kasvanut siitä huolimatta, että vaipan eristyspaksuus on lisääntynyt.

#### 4.2.6 Käsinlaskennalla saavutetun energiatehokkuusluokka A:n asetusten vaikutus kokonaisenergiankulutukseen ja jäähdytystarpeeseen IDA-ICE:ssa

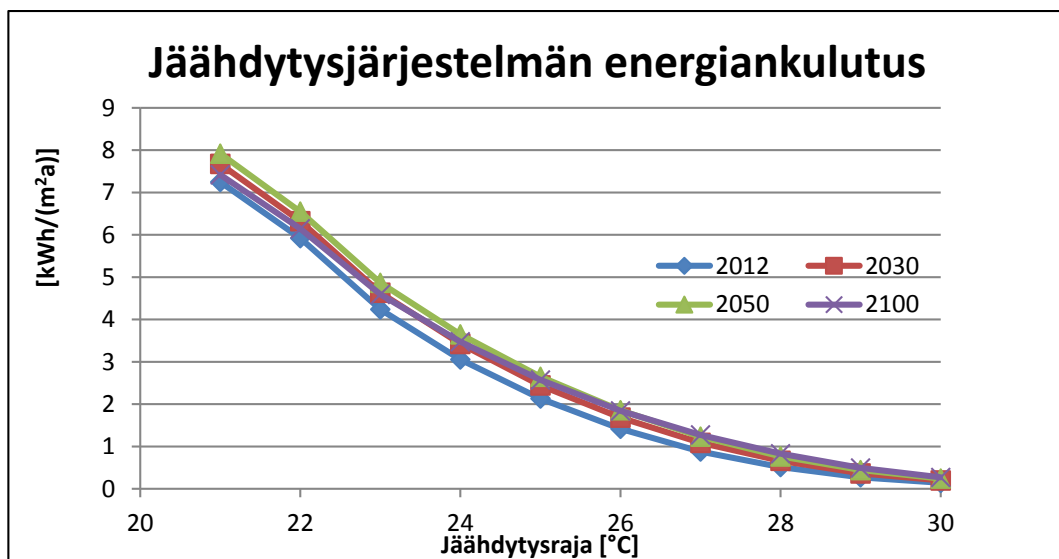
Energiatohokkuusluokan A yläraja  $85 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$  saavutettiin käsinlaskennalla. Samat muutokset tehtiin IDA-ICE:n asetuksiin sähköllä lämmitetyssä rakennuksessa. IDA-ICE:ssa sähköllä lämmitetty rakennus sai kuitenkin E-luvun  $94 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . A-luokka jäi siis  $9 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ :n päähän. Tämä koostuu suurimmaksi osaksi tilojen lämmityksen energiankulutuksesta. Lisälämmitysjärjestelmät on otettu tässäkin rakennuksen versiossa huomioon siirtämällä IDA-ICE-tulokset Exceliin. Ennen kuin lisälämmitys- ja aurinkopaneelijärjestelmät otettiin huomioon, E-luvuksi saatiin  $150 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . Kokeilumielessä kaukolämmitettyyn rakennukseen tehtiin samat parannukset. E-luvuksi tuli tällöin  $94 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ , kun lisälämmitys- ja aurinkopaneelijärjestelmiä ei ole otettu huomioon. Kaukolämmitetty rakennus olisi siis saatu energiatehokkuusluokkaan A, jos siihen olisi lisätty joitain aurinkosähköjärjestelmiä. Sähköllä lämmitetyn rakennuksen kaikkien testivuosien kokonaisenergiankulutukset on esitetty seuraavassa kuvassa.





Kuva 4.29. IDA-ICE:lla määritetyt E-luvut TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin A-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (85 kWh<sub>E</sub>/(m²a)). Käyrällä "E-luku jäähdytyksen kanssa" on käytetty jäähdytysrajaa 24 °C. E-luvut on pyöristetty ylöspäin seuraavaan kokonaislukuun.

Kuvasta nähdään, että vasta vuoden 2100 säätiedoilla päästään vaadittavaan energiatohokkuusluokkaan A. Samoilla asetuksilla suoritettun simulaation tulokset jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksista on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 4.30. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin A-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (85 kWh<sub>E</sub>/(m²a)). Tarkastelu on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.

Jäähdytykseen kuluvan energian käyrän arvot ovat suunnilleen samat kuin tapauksessa, jossa oli korotettu ikkunoiden auringonsäteilyn läpäisyn kerrointa. B-energiatohokkuusluokan rakennuksen tuloksiin verrattuna arvot ovat suunnilleen kaksinkertaistuneet.

### 4.3 Käsinlaskennan ja IDA-ICE-laskennan tulosten vertailua

Tässä luvussa on vertailtu käsinlaskennalla ja IDA-ICE-laskennalla saatuja tuloksia keskenään. Jotkut tulokset ovat hyvinkin tarkasti samansuuruisia molemmilla laskutavoilla. Osassa tuloksista on sen sijaan suuria eroja laskentatapojen välillä. Aiempien tutkittujen kokonaisenergiankulutuksen ja jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen lisäksi otetaan tutkinnan alle myös sisälämpötilat. Sisälämpötilat on laskettu niin, että rakennuksessa ei ole ollut jäähdytystä. Lämmitys on ollut kuitenkin päällä niin, että lämmitysrajana on tuttuun tapaan ollut 21 °C.

#### 4.3.1 Kokonaisenergiankulutuksen laskenta

Tässä luvussa on tarkasteltu E-luvun laskennan tulosten eroja ja mistä nämä erot syntyvät käsinlaskennan ja IDA-ICE-simuloinnin välillä. Käsinlaskennassa kaikki laskenta on suoritettu Excel-ohjelmalla. IDA-ICE-ohjelmassa aluksi kaikki lämmitys on suoritettu kokonaan kaukolämmöllä tai sähkölämmityksellä. Lisälämmitysjärjestelmät on otettu huomioon vasta kun IDA-ICE-tulokset on siirretty Excel-ohjelmaan. Vertailussa käytetään vuoden 2012 säätiedostoilla laskettuja tuloksia, joissa ei ole otettu jäähdytystä huomioon.

Perustapauksen tulokset vastasivat toisiaan kaukolämmitetyn rakennuksen tapauksessa hyvin tarkasti. IDA-ICE-laskennalla saatiin E-luku 155 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a), kun taas käsinlaskennalla saatu E-luku oli 154 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Valaistuksen, lämpimän käyttöveden ja kuluttajalaitteiden energiankulutukset ovat kaikissa tutkittavissa tapauksissa kutakuinkin samansuuruiset molemmilla tavoilla laskettuina. Erot syntyvät useimmiten tilojen lämmitykseen kuluva energiasta.

Sähköllä lämmitetty perustapaus sai IDA-ICE:lla E-luvun 165 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) ja käsinlaskennalla 161 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Tässä on siis suurempi ero. Suurempi eristyspaksaus kaukolämmitettyyn rakennukseen nähdessä kasvattaa luultavasti eroa. Myös lisälämmitysjärjestelmien huomioon ottaminen lienee hieman vaikuttanut tulokseen.

Rakennuksen kääntäminen ja verhojen käyttö eivät saaneet aikaan juurikaan laskentamenetelmien tulosten välisen eron muutosta. Verhojen käyttö tosin pienensi sähköllä lämmitetyn pientalon eri laskentatapojen välistä eroa.

Kun ikkunoiden auringon kokonaissäteilyn läpäisykerrointa korotettiin, niin IDA-ICE:lla saatiin E-luku 151 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) kaukolämmitysratkaisulla. Vastaava E-luku käsinlaskettuna oli 148 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Sähköllä lämmitetyn pientalon E-luvut olivat 158 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) ja 151 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Ikkunan ominaisuuksien muuttaminen siis suurensi laskentatapojen välille syntyvää eroa. IDA-ICE:ssa ikkunat mallinnetaan tarkemmin, kun taas käsinlaskennassa ikkunoiden ominaisuudet on yksinkertaistettu.

Käsinlaskennassa sähköllä lämmitetylle rakennukselle tehtiin tarvittavat muutokset, jotta rakennus pääsisi energiatehokkuusluokkaan B. Nämä muutokset asetettiin myös IDA-ICE-ohjelmassa. Käsinlaskennalla saatiin E-luku 140 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a), eli B-

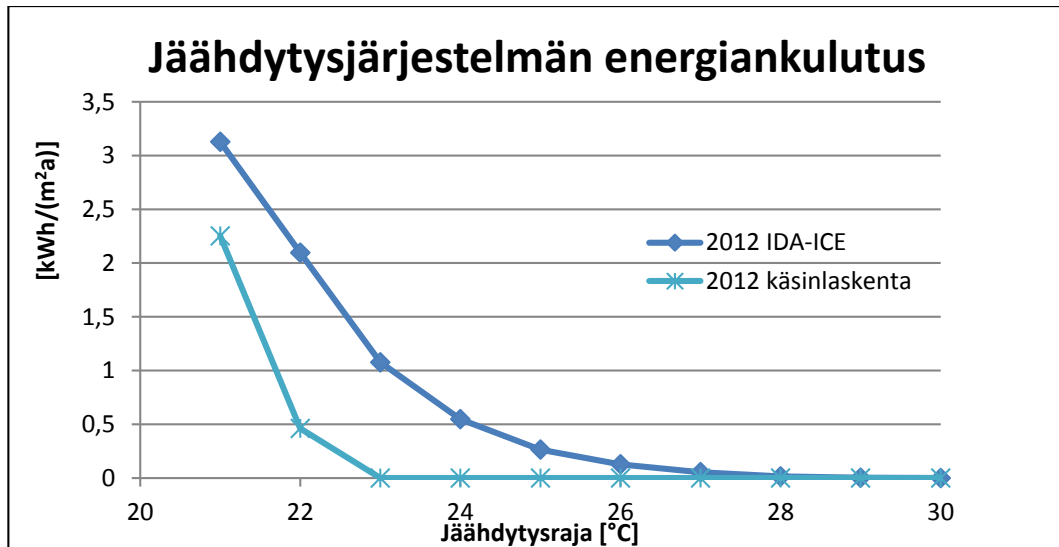
energiatehokkuusluokan yläraja. IDA-ICE:a käyttäen saatiin E-luvuksi  $148 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . Tämä erotus koostuu lähes kokonaisuudessaan lämmityksen energiankulutuksesta.

Sähköllä lämmitetyn talon A-energiatehokkuusluokan asetuksilla käsinlaskennassa saatiin E-luku  $85 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ , joka on kyseisen energiatehokkuusluokan yläraja. IDA-ICE:lla E-luvuksi saatiin  $94 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . Ero laskentatapojen välillä on siis kasvanut entisestään. Suuri eristyspaksuus voi olla laskentatapojen välillä eroa aikaansaava tekijä. Aurinkosähköjärjestelmän lisäämisestä ei todennäköisesti aiheutunut suurta eroa. Käsinlaskenta on suoritettu käyttäen kuukauden keskimääräisiä ulkolämpötiloja. Tällöin alimpia lämpötiloja ei oteta samalla tavalla huomioon kuin IDA-ICE:ssa. Kun laskennassa käytetään kuukauden keskilämpötiloja ja kun vaippa on tiivis sekä hyvin lämpöä eristävä, niin lämmitysenergiaa ei kulu kovin paljon. Alimmat lämpötilat nostavat tarvittavan lämmityksen määrää paljon. Tämä lieenee yksi syy IDA-ICE:n suurempiin lämmitysenergian tarpeisiin. Käsinlaskennassa sen sijaan oletetaan, että joko koko kuukauden ajan lämmitetään koko ajan tai sitten ei lämmitetä yhtään koko kuukauden aikana. IDA-ICE:ssa tapahtuu suuriakin lämmittämistarpeen vaihteluita saman päivän aikana.

#### 4.3.2 Jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen laskenta

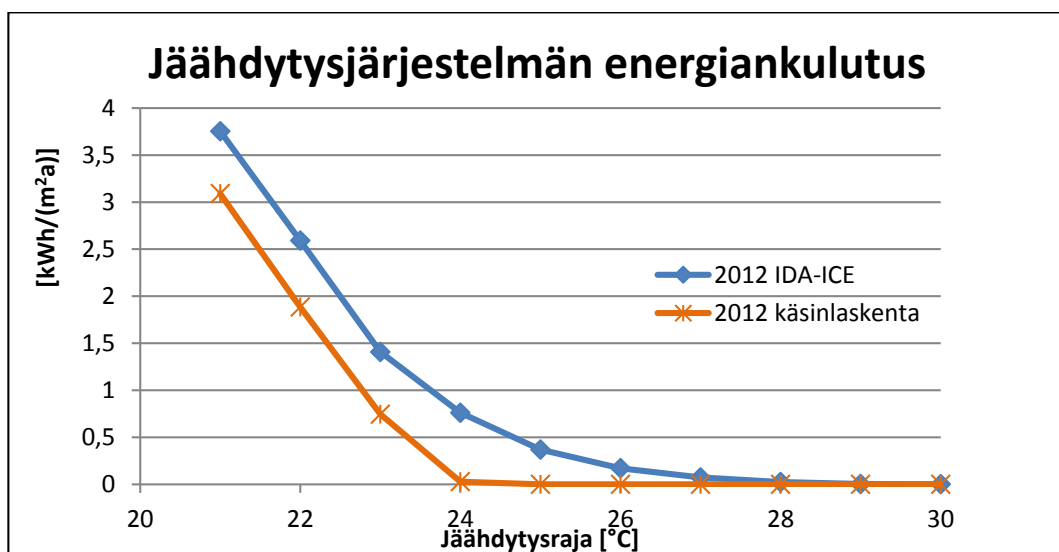
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus määritettiin käsinlaskennassa RakMK:n osan D5 vuoden 2007 version kaavojen mukaisesti. IDA-ICE:ssa jäähdytysjärjestelmänä olivat huonekohtaiset jäähdyttimet. Käsinlaskenta tapahtui käyttäen kuukausittaisia keskilämpötiloja, kun taas IDA-ICE:ssa laskenta tapahtui tunnin välein ilmoitettujen säätietojen perusteella. Vuoden 2012 D5:ssa ei ole kuukausikohtaisen jäähdytysenergian kaavoja, koska ne koettiin ilmeisesti epätarkoiksi. Tästä syystä olikin mielenkiintoista tutkia, kuinka paljon Excelillä tehdyn kuukausikohtaisen ja IDA-ICE:lla tehdyn tuntikohtaisen laskennan tulokset eroavat toisistaan.

Kummallakin tavalla tutkittiin jäähdytysjärjestelmän energiankulutusta jäähdytysrajan eri arvoilla. IDA-ICE:lla nämä tarkastelut tehtiin myös tulevaisuuden testivuosilla. Tässä kappaleessa esitetyissä kuvaajissa on esitetty IDA-ICE-laskennan TRY2012-säätiedostolla saadut tulokset ja käsinlaskennan RakMK:n osan D3 (2012) säätiedoilla saadut tulokset. Seuraavassa kuvassa nämä on esitetty kaukolämmitetyn perustapauksen osalta.



Kuva 4.31. IDA-ICE:n ja käsinlaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Kaukolämmitetty rakennus, perustapaus, IDA-ICE:ssä käytetty TRY2012-säätiedostoa ja käsinlaskennassa käytetty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisia säätietoja.

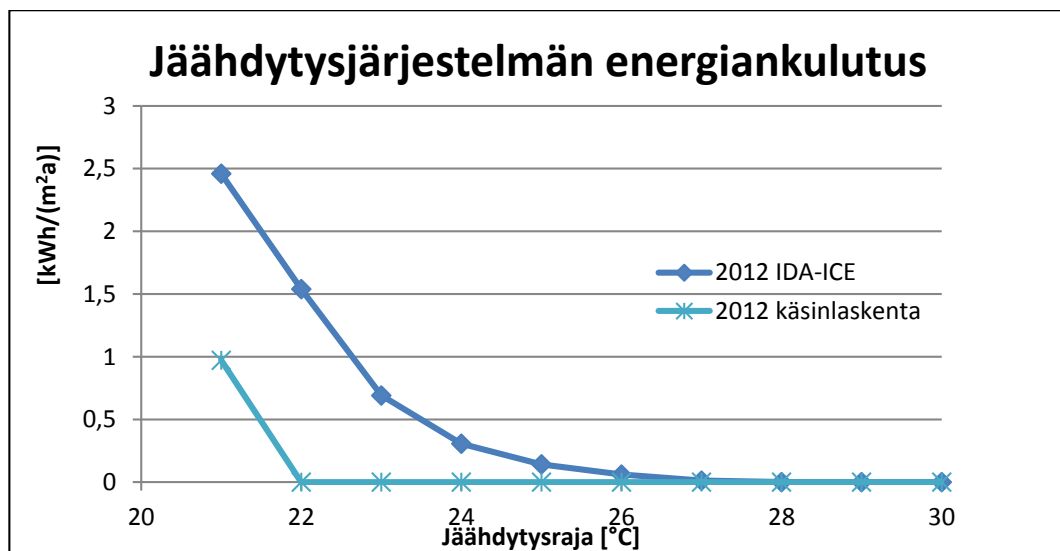
Kuten kuvasta nähdään, niin käsinlaskennan mukaan jäähdytystä ei enää tarvita jäähdytysrajan arvolla 23 °C. IDA-ICE:n mukaan jäähdytystä tapahtuu hieman vielä jäähdytysrajan ollessa 29 °C. Käsinlaskennan arvot ovat joka pisteessä IDA-ICE:a alhaisemmat. Jäähdytysrajan ollessa 21 °C prosentuaalinen ero ei ole kovin suuri, mutta esimerkiksi jäähdytysrajalla 23 °C se on todella iso, koska käsinlaskennan mukaan jäähdytystä ei tarvita ollenkaan. Se on merkittävä huomio siitäkin syystä, että 23 °C tai 24 °C voi olla hyvinkin realistinen arvo jäähdytysrajalle todellisten asukkaiden käyttäessä jäähdytysjärjestelmää. Seuraavassa kuvassa on esitetty sähköllä lämmitetyn perustapauksen jäähdyttämiseen kuluneet energiat neliömetriä kohden.



Kuva 4.32. IDA-ICE:n ja käsinlaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus, IDA-ICE:ssä käytetty TRY2012-säätiedostoa ja käsinlaskennassa käytetty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisia säätietoja.

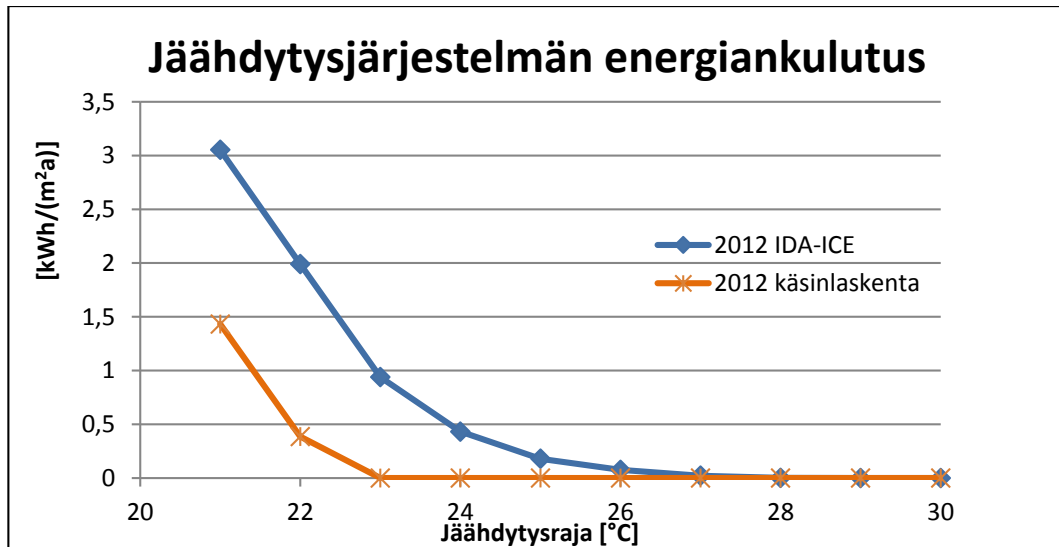
Käsinlasketut jäähdytykseen kuluvat energiat ovat sähköllä lämmitettylläkin rakennuksella pienemmät kuin IDA-ICE:lla lasketut energiat. Prosentuaalinen ero ei kuitenkaan ole kovin suuri jäähdytysrajan ollessa välillä 21 - 23 °C. Ylemmillä jäähdytysrajan arvoilla ei käsinlaskennan mukaan jäähdytystä enää tapahdu. Tämä johtuu siitä, että laskenta on tehty kuukauden keskimääräisiä ulkoilman lämpötiloja käyttäen. IDA-ICE-laskennassa otetaan lämpötilan huippuarvotkin huomioon. Suurimmat huiput lämpötiloissa saattavat olla kymmenenkin astetta kyseisen kuukauden keskiarvoa suuremmat.

Kun rakennusta käännettiin, sillä ei ollut juuri lainkaan vaikutusta koko rakennuksen jäähdytystarpeeseen tai lämmitystarpeeseen. Vaikutusta ei ollut kummallakaan laskutavalla. Vertailevaa kuvaajaa jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksesta on siten tarpeetonta esittää tässä. Käyrät olisivat kutakuinkin samanlaiset kuin edeltävien kuvien perustapauksillakin. Seuraavassa tarkastellaan kuitenkin verhoilla varustetun rakennuksen jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksia. Kaukolämmitetyn rakennuksen kulutukset on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 4.33. IDA-ICE:n ja käsinlaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Kaukolämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. IDA-ICE:ssa käytetty TRY2012-säättiedostoa ja käsinlaskennassa käytetty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisia säättietoja.

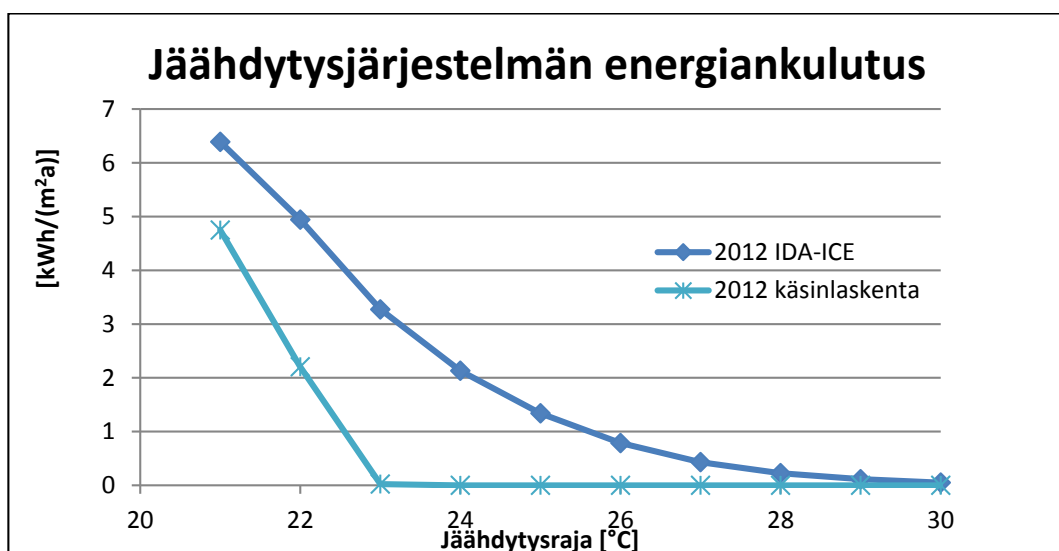
Kuten kuvasta nähdään, verhoilla varustetun kaukolämmitetyn rakennuksen jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksissa on hyvin suuri ero laskentatapojen välillä. Käsinlaskennan mukaan jäähdytykseen kuluu energiaa pelkästään jäähdytysrajan arvolla 21 °C. Silloinkin sitä kuluu reilusti alle puolet IDA-ICE:n laskemiin tuloksiin verrattuna. IDA-ICE:n tulokset muuttuvat käyränä niin, että jäähdytysrajan arvolla 29 °C ei kulu enää energiaa jäähdytykseen. Sähköllä lämmitetyn verhot sisältävän talon jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 4.34. IDA-ICE:n ja käsinelaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Sähköllä lämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. IDA-ICE:ssä käytetty TRY2012-säätiedostoa ja käsinelaskennassa käytetty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisia säätietoja.

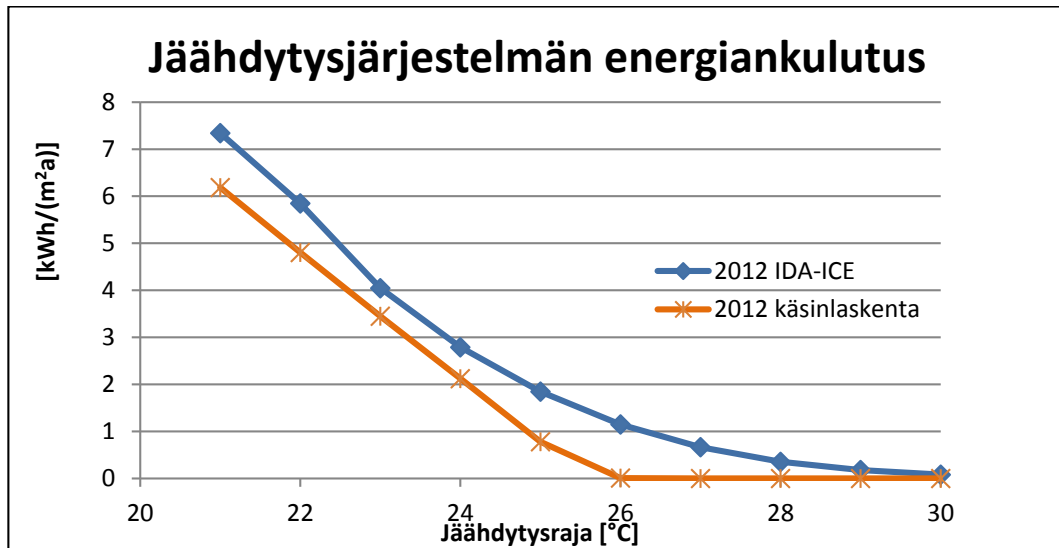
Verhojen käyttö tuo lisää eroa laskentatapojen välille myös sähkölämmitteisessä rakennuksessa. Verhojen mallinnus lienee tarkempaa IDA-ICE:ssä. Käsinelaskennassa verhot tulevat otetuksi huomioon vain yhden verhokertoimen avulla. Tässä tapauksessa tuo verhokerroin on 0,3. Tämä vastaa valkoisia sädekaihtimia ikkunan lasien välissä, joita IDA-ICE-laskennassa käytettiin.

Seuraavaksi esitetään pientalon, jossa on korotettu ikkunoiden auringon kokonaissäteilyn läpäisykerrointa, tulokset jäähdytykseen kuluneen energian osalta. Suuremman sisälle tulevan auringon säteilyn ansiosta lämpökuormat kasvavat ja näin ollen jäähdytystarvekin kasvaa. Kaukolämmitetyn rakennuksen kyseisen tapauksen tulokset laskettuna molemmilla laskutavoilla on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 4.35. IDA-ICE:n ja käsinelaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Kaukolämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ). IDA-ICE:ssä käytetty TRY2012-säätiedostoa ja käsinelaskennassa käytetty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisia säätietoja.

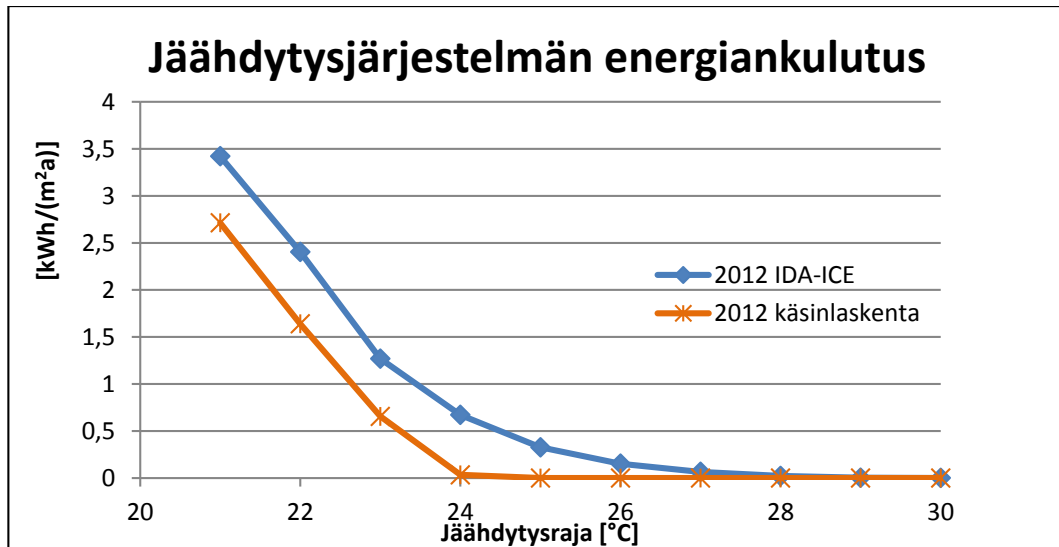
Käsinlaskennalla laskettu jäähdytysjärjestelmän sähköenergian kulutus 21 °C:een jäähdytysrajalla on IDA-ICE:lla laskettua arvoa noin 26 % pienempi. Ero kasvaa prosentuaalisesti jäähdytysrajan kasvaessa. Jäähdytysrajan arvolla 23 °C laskentatapojen välisten tulosten ero on suurimmillaan. IDA-ICE:lla saatu kulutus on 3,27 kWh/(m<sup>2</sup>a) ja käsinlaskennalla 0,02 kWh/(m<sup>2</sup>a). Näillä suuruusluokilla tällainen ero on erittäin suuri. Sähköllä lämmitetyn rakennuksen jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 4.36. IDA-ICE:n ja käsinlaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Sähköllä lämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ). IDA-ICE:ssä käytetty TRY2012-säätiedostoa ja käsinlaskennassa käytetty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisia säätietoja.

Sähkölämmitetyssä rakennuksessa käsinlaskennan ja IDA-ICE-laskennan jäähdytykseen kuluneiden energioiden käyrät ovat jo lähempänä toisiaan. Ikkunoiden auringonsäteilyn läpäisykertoimen kasvattaminen sai aikaan suuremmat lämpökuormat. Jäähdytys lisääntyi käsinlaskennassakin huomattavasti. Jäähdytysrajan ollessa 21 °C:een ja 25 °C:een välillä, ovat eri laskentatavoilla lasketut tulokset hyvin lähellä toisiaan.

Seuraavaksi esitetään vertailevat tulokset rakennuksen sähkölämmitteisestä versiosta, jolla saavutettiin käsinlaskennassa energiatehokkuusluokka B. IDA-ICE-laskennalla ei saavutettu energiatehokkuusluokkaa B, vaikka samat muutokset taloon tehtiinkin. Kuvassa 4.37 on esitetty käsinlaskennan ja IDA-ICE-laskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutukselle.

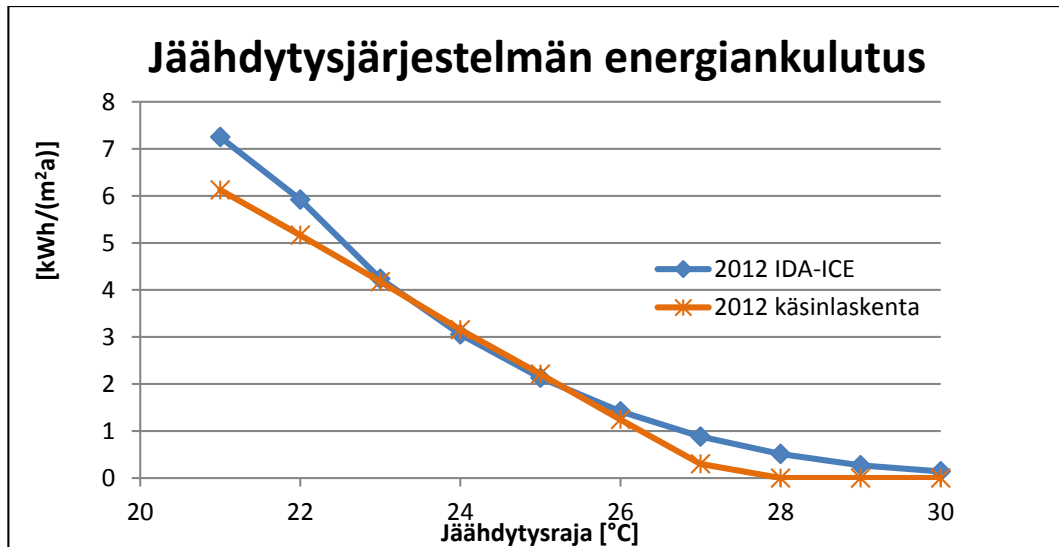


Kuva 4.37. IDA-ICE:n ja käsinlaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin B-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (140 kWh<sub>E</sub>/(m²a)). IDA-ICE:ssä käytetty TRY2012-säätiedostoa ja käsinlaskennassa käytetty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisia säätietoja.

Käsinlaskennan käyrä on nytkin IDA-ICE-laskennan käyrää alempana joka pisteessä. Käyrät ovat kuitenkin melko lähellä toisiaan. Jäähdytystarve kuitenkin loppuu käsinlaskennassa edelleen huomattavasti alemmilla jäähdytysrajan arvoilla. Jäähdytysrajan ollessa 27 °C, ei kummallakaan laskentatavalla jäähdytystä juurikaan tapahdu. Tämä on siinä mielessä merkittävää, että RakMK:n osan D3 vuoden 2012 versiossa 27 °C on asetettu erillisen pientalon sekä rivi- ja ketjutalon jäähdytysrajaksi.

Esitetään vielä vastaavat käyrät sähköllä lämmitetystä pientalosta, jolla käsinlaskennassa saavutettiin A-energiatohokkuusluokan raja 85 kWh<sub>E</sub>/(m²a). IDA-ICE:lla ei tätä rajaa saavutettu. Seuraavassa kuvassa on esitetty käsinlaskennan ja IDA-ICE-laskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksesta tälle kyseiselle rakennuksen versiolle.





Kuva 4.38. IDA-ICE:n ja käsinlaskennan tulokset jäähdytysjärjestelmän sähköenergiankulutuksista jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin A-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (85 kWh<sub>E</sub>/(m²a)). IDA-ICE:ssä käytetty TRY2012-säätiedostoa ja käsinlaskennassa käytetty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisia säätietoja.

Kuvasta nähdään, että A-energiatohokkuusluokan asetuksilla käsinlaskennalla on saatu ensimmäistä kertaa IDA-ICE-laskentaa suuremmat jäähdytysenergian kulutukset jossakin pisteessä. Jäähdytysrajan ollessa 24 °C tai 25 °C, on käsinlaskennalla saatu suuremmat arvot. Käyrät ovat arvoiltaan suhteellisen lähellä toisiaan. Kun otetaan huomioon se, että käsinlaskennalla saadut jäähdytykseen kuluneen energian käyrät ovat olleet jokaisessa tutkitussa tapauksessa suoria, niin suora on nyt osunut varsin hyvin päällekkäin IDA-ICE:sta saatujen tulosten kanssa. Ainoastaan tässä tapauksessa kaikista tutkituista tapauksista jäähdytystarvetta esiintyy jäähdytysrajalla 27 °C käsinlaskennan mukaan. RakMK:n osassa D3 (2012) erillisen pientalon sekä rivi- ja ketjutalon jäähdytysrajaksi on asetettu 27 °C. Millään tutkitavista tapauksista jäähdytysjärjestelmän energiankulutus ei ollut suurta tällä jäähdytysrajalla IDA-ICE-laskennankaan mukaan. Suurin kulutus saatiin A-energiatohokkuusluokan asetuksilla, ja se oli 0,88 kWh/(m²a).

### 4.3.3 Lämpötilojen laskenta

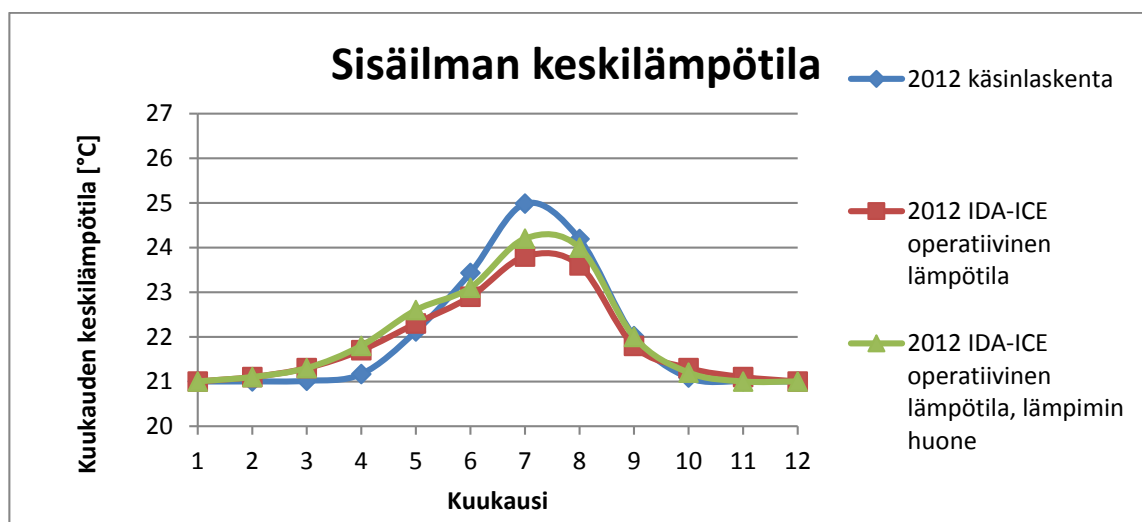
Tässä luvussa vertaillaan käsinlaskennan ja IDA-ICE-laskennan kuukausittaisia keskilämpötilaeroja. Vertailuissa tutkitavassa rakennuksessa ei ole käytetty jäähdytystä. Lämmitys on kuitenkin ollut käytössä, ja lämmitysrajana on ollut 21 °C. Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisessa käsinlaskennassa pientaloa ei ole jaettu tiloihin. Asunto on siis yksittäinen tila. IDA-ICE:ssä rakennus on jaettu huoneisiin. Jokainen huone on yksittäinen vyöhyke, jolle IDA-ICE laskee lämpötilat. Käsinlaskennassa käytetään ulkolämpötiloille ja auringonsäteilylle kuukauden keskimääräisiä arvoja. IDA-ICE:n käyttämissä säätiedoissa nämä tiedot on ilmoitettu tunnin välein.

Tarkempia taulukoita lämpötilojen laskennan tuloksista löytyy liitteistä. Käsinlasketut kuukauden keskimääräiset sisäilman lämpötilat löytyvät kahden desimaalin tarkkuudella määritettyinä arvoina liitteestä 5. IDA-ICE:lla lasketut kuukauden keski-

määräiset operatiiviset lämpötilat sekä huoneen keskikorkeudella määritetyt lämpötilat löytyvät tiettyjen huoneiden osalta liitteestä 6. Nämä ovat yhden desimaalin tarkkuudella ilmoitettuja.

Tarkastellaan aluksi kaukolämmitetyn rakennuksen perustapauksen lämpötiloja. Käsinelaskennassa on laskettu koko rakennuksen keskilämpötila. IDA-ICE:ssa käytetään tässä vertailussa suuren keskustilan lämpötilaa. Tämän keskustilan ala on 62,4 m<sup>2</sup> ja siihen sisältyvät olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Tämän huoneen kuukauden keskilämpötilat vastaavat melko tarkasti koko pientalon keskilämpötiloja. Lisäksi on tutkittu kaakkoiskulman makuuhuoneen kuukauden keskilämpötiloja. Tästä huoneesta käytetään myös nimitystä Makuuhuone 4. Siellä saavutettiin suurimmat keskilämpötilat talon suurimmista huoneista. Pienissä tiloissa kuten WC, on saatettu saavuttaa vieläkin korkeampia keskiarvolämpötiloja. Suurimmat 27 °C:een ylittävien astetuntien määrät on kaukolämmitetyn rakennuksen perustapauksessa saatu ”Makuuhuone 4”:ssä. Siellä näiden astetuntien määrä on 83 °Ch, kun on käytetty TRY-2012-säätiedostoa. Muissa huoneissa astetunnit ovat maksimissaan 11 °Ch:n luokkaa, ja monissa huoneissa 27 °C ei ylity missään vaiheessa vuotta. Jos pientalossa tarkastellaan kesäajan lämpötiloja, kaukolämmitetyn rakennuksen perustapaus selviäisi ilman koneellista jäähdytystarvetta kaikissa tapauksissa. Astetuntirajahan ei saa ylittyä 150 tuntia enempää vuoden aikana.

Seuraavassa kuvassa 4.39 on esitetty käsinelaskennalla ja IDA-ICE-laskennalla saadut kuukauden keskilämpötilakäyrät kaukolämmitetyn rakennuksen perustapauksella. IDA-ICE:n lämpötilat ovat operatiivisia lämpötiloja. Myös ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella olisi ollut valittavissa. Näiden lämpötilojen välillä on vain pieni ero. Lämpötila huoneen keskikorkeudella on hieman suurempi kuin tilan operatiivinen lämpötila.

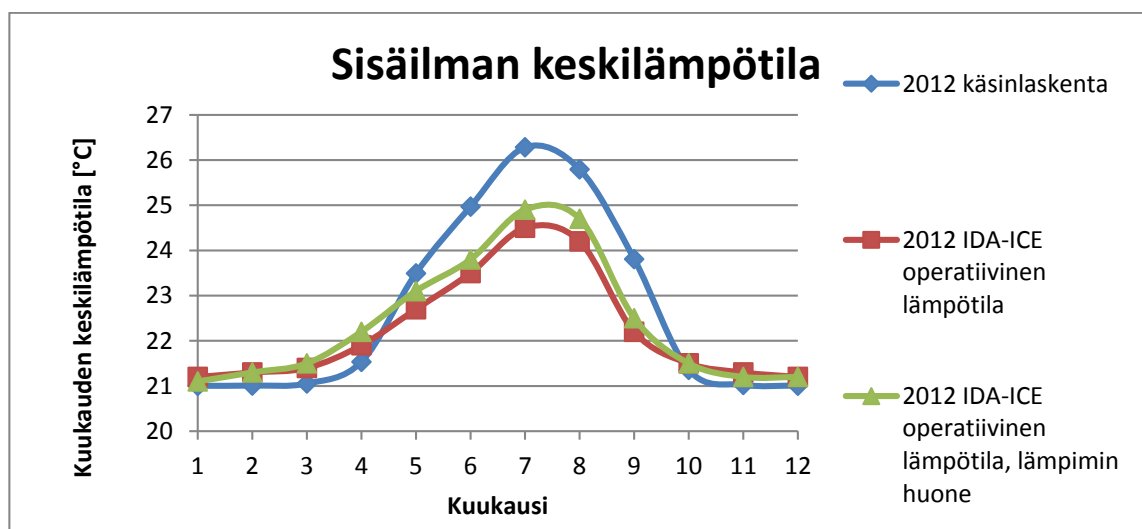


Kuva 4.39. Käsinelaskennalla määritetyt sisäilman kuukauden keskiarvolämpötilat, sekä IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset keskiarvot operatiivisille lämpötiloille. Kaukolämmitetty rakennus, perustapaus. IDA-ICE:ssa käytetty TRY2012-säätiedostoa ja käsinelaskennassa käytetty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisia säätietoja. Lämpimin huone on Makuuhuone 4. Toinen IDA-ICE-käyrä on mitattu tilassa, johon kuuluvat olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone.

Kuvasta nähdään, että kesäkuukausina käsinlaskennalla saadut lämpötilat ovat suuremmat kuin IDA-ICE:n laskemat lämpötilat. Lämmityskuukausina IDA-ICE:lla lasketut lämpötilat ovat hieman suuremmat. Käsinlaskennan tuloksissa sisäilman lämpötila on talven kuukausina tasan 21 °C. IDA-ICE:ssa taas esimerkiksi helmikuussa lämpötila on 21,1 °C. Vuoden keskilämpötila on käsinlaskennan mukaan 22,0 °C ja vuoden operatiivinen keskilämpötila IDA-ICE:n mukaan 21,9 °C. Lämpötila huoneen keskikorkeudella saa vuoden keskiarvokseen 22,1 °C. Vuoden keskilämpötilat osuvat siis lähelle toisiaan laskentatavasta riippumatta. Suurimmat sisälämpötilan keskiarvot on saatu heinäkuussa. Käsinlaskennalla saatu arvo on tuolloin 25,0 °C ja IDA-ICE:lla saatu arvo 23,8 °C. Lämpimimmän huoneen vuoden operatiivinen keskilämpötila on 22,0 °C. Heinäkuussa lämpimimmän huoneen keskilämpötila on 24,2 °C. Lämpimimmän huoneen suurin mitattu yksittäinen operatiivinen lämpötila on 30,2 °C.

Kesäkuukausien sisäilman kuukausittaiset keskiarvolämpötilat ovat suuremmat käsinlaskennalla kuin IDA-ICE:lla määritettyinä. Jäähdytystarpeet ovat kuitenkin IDA-ICE-laskennalla suuremmat kuin käsinlaskennalla. IDA-ICE ottaa huomioon ulkoilman lämpötilahuiput. Vaikka sisäilman keskiarvolämpötilat ovatkin IDA-ICE:ssa kesällä pienemmät, niin ulkoilman lämpötilahuiput nostavat sisätilojen jäähdytystarvetta.

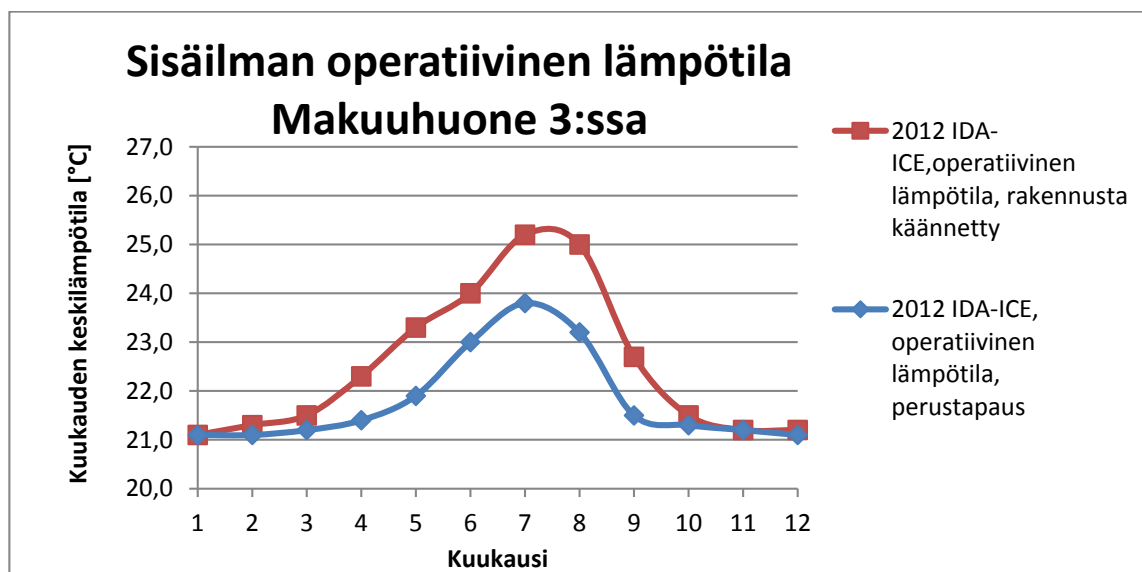
Myös sähköllä lämmitetyn rakennuksen perustapauksen lämpötiloista on tehty IDA-ICE-laskennan ja käsinlaskennan kuukausittaisia keskiarvoja vertaileva kuvaaja. Nämä käyrät on esitetty seuraavassa kuvassa. Suurimmat 27 °C:een ylittävät astetuntimäärät on sähköllä lämmitetyn rakennuksen perustapauksessa saatu ”Makuuhuone 4”:ssä. TRY-2012-säätiedostoa käyttäen näiden astetuntien määrä on 110 °Ch. Muissa huoneissa astetuntien määrä on maksimissaan 26 °Ch. Sähköllä lämmitetty rakennus läpäisisi kesäajan lämpötilavaatimukset ilman mitään jäähdytystoimenpiteitä.



Kuva 4.40. Käsinlaskennalla määritetyt sisäilman kuukauden keskiarvolämpötilat, sekä IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset keskiarvot operatiivisille lämpötiloille. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. IDA-ICE:ssa käytetty TRY2012-säätiedostoa ja käsinlaskennassa käytetty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisia säätietoja. Lämpimin huone on Makuuhuone 4. Toinen IDA-ICE-käyrä on mitattu tilassa, johon kuuluvat olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone.

Käyrät ovat hyvin samanmuotoiset kuin kaukolämmitetyssäkin rakennuksessa. Huippuarvot ovat vain suurempia. Suurimmat sisäilman lämpötilat on nytkin saatu heinäkuussa. Heinäkuun keskilämpötilat ovat käsinlaskennan mukaan 26,3 °C ja IDA-ICE:n mukaan suuressa keskushuoneessa 24,5 °C. Lämpimimmässä huoneessa heinäkuun operatiivisen lämpötilan keskiarvoksi saatiin 24,9 °C. Koko vuoden sisäilman keskilämpötila oli käsinlaskennalla 22,7 °C ja IDA-ICE:llä 22,2 °C. Lämpimimmän huoneen vuoden keskilämpötila oli 22,4 °C. Talvi- ja kesälämpötilojen erot ovat siis sähkölämmitteisellä rakennuksella suurempia kuin kaukolämmitteisellä. Tämä johtuu suuremmasta eristepaksuudesta. Lämpimimmän huoneen suurin mitattu yksittäinen operatiivinen lämpötila oli 30,6 °C.

Vertaillaan seuraavaksi rakennuksen kääntämisen vaikutusta erään makuuhuoneen lämpötilaan. Makuuhuone 3 sijaitsee rakennuksen koilliskulmassa. Huoneessa on yksi ikkuna pohjoisen suuntaan. Kun rakennusta käännetään 180 astetta, niin ikkuna on silloin etelän puolella. Huoneen lämpötilat nousevat tällöin kääntämisen seurauksena. Kuvassa 4.41 esitetään IDA-ICE:llä lasketut sisäilman kuukauden keskimääräiset operatiiviset lämpötilat sähköllä lämmitetylle talolle ”Makuuhuone 3”:ssa ennen ja jälkeen rakennuksen kääntämistä.

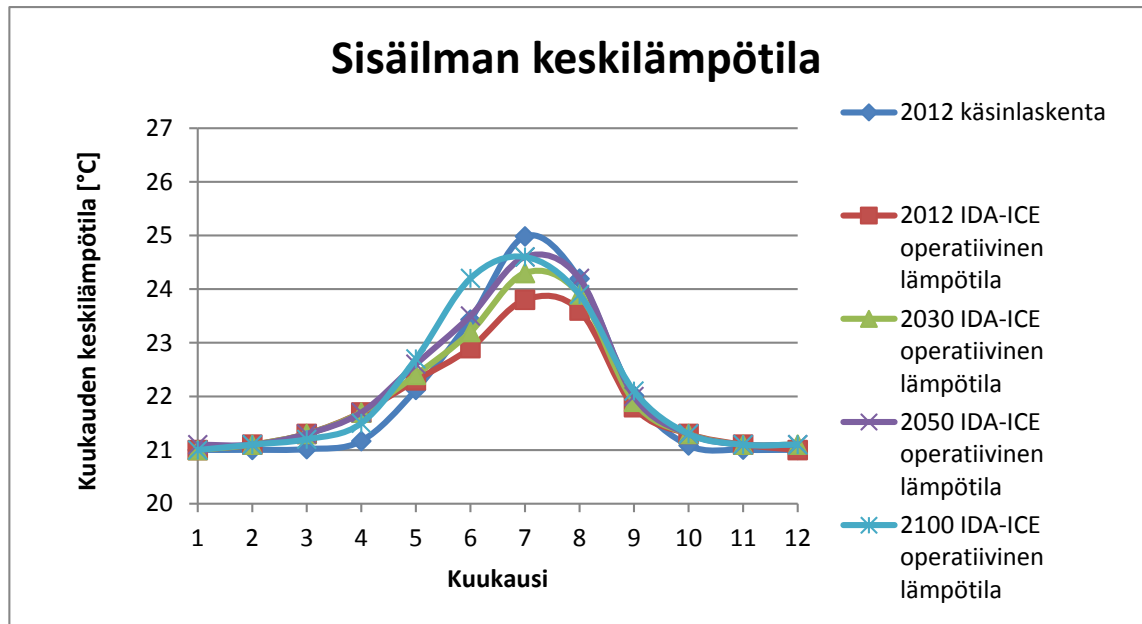


**Kuva 4.41.** IDA-ICE:llä määritetyt kuukausittaiset keskiarvot operatiivisille lämpötiloille Makuuhuoneessa 3. Sähköllä lämmitetyn rakennuksen perustapaus sekä tapaus, jossa on 180° käännetty rakennusta. Käytetty TRY2012-säätiedostoa.

Rakennuksen kääntämisen jälkeen lämpötila on noussut huoneessa paljon, koska huone ja ikkuna ovat nyt auringon puolella. Heinäkuun keskilämpötila on noussut arvosta 23,8 °C arvoon 25,2 °C. Elokuun keskilämpötila on kasvanut 23,2 °C:sta arvoon 25,0 °C. Koko vuoden operatiivisen lämpötilan keskiarvo oli ”Makuuhuone 3”:lla ennen kääntämistä 21,8 °C ja kääntämisen jälkeen 22,5 °C. Vuoden keskilämpötila siis nousi 0,7 °C. Ikkunoiden suunnalla on siis suuri vaikutus keskilämpötilaan ja vielä suurempi vai-

kutus yksittäisiin lämpötilahuippuihin. Ennen rakennuksen kääntämistä suurin mitattu operatiivinen lämpötila oli 27,6 °C ja kääntämisen jälkeen 30,9 °C.

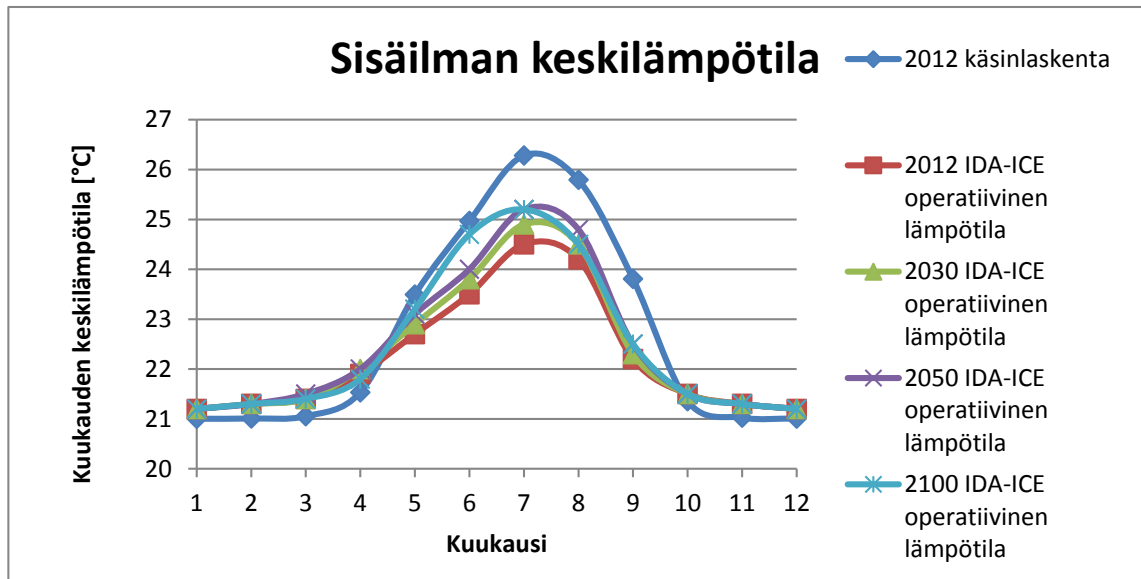
Seuraavaksi esitetään kaukolämmitetyn rakennuksen perustapauksesta vielä IDA-ICE:n tulokset, joissa nähdään myös tulevaisuuden testivuosilla lasketut lämpötilat. Tutkittavana huoneena on käytetty suurinta tilaa, eli sitä johon kuuluvat olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Nämä operatiiviset kuukausittaiset keskilämpötilat on esitetty seuraavassa kuvassa. Kuvassa on myös vertailun vuoksi käsinlaskennalla saatu lämpötiläkäyrä.



Kuva 4.42. Käsinlaskennalla määritetyt sisäilman kuukauden keskiarvolämpötilat, sekä IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset keskiarvot operatiivisille lämpötiloille. Kaukolämmitetty rakennus, perustapaus. IDA-ICE:ssä käytetty TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiestöjä. Käsinlaskennassa käytetty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisia säätiestöjä. IDA-ICE:n lämpötilat on mitattu tilassa, johon kuuluvat olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone.

Käsinlaskennalla saatu heinäkuun keskilämpötila on IDA-ICE:lla laskettuja tulevaisuuden keskilämpötilojakin korkeampi. Huomioitavaa kuvassa on myös se, että vuoden 2100 säätiestöllä laskettujen lämpötilojen käyrä on selvästi erimuotoinen kuin aikaisempien vuosien käyrät. Kesäkuussa vuoden 2100 sisälämpötila on muita selvästi suurempi, mutta esimerkiksi elokuussa se on vuoden 2050 lämpötilaa pienempi. Koko vuoden sisäilman keskilämpötila oli käsinlaskennassa 22,0 °C. IDA-ICE-laskennassa vuoden keskimääräiset sisäilman operatiiviset lämpötilat olivat 21,9 °C (TRY2012), 22,0 °C (TRY2030), 22,1 °C (TRY2050) ja 22,2 °C (TRY2100). Keskiarvo on siis noussut aina 0,1 °C tutkittavien testivuosien välillä, joten vuosittaisissa keskilämpötiloissa nousu on vähäinen. Kesällä lämpötiloissa on kuitenkin huomattavissa suurempaa kasvua. Suurimmat mitatut operatiiviset lämpötilat vuoden aikana missä tahansa huoneessa olivat 30,2 °C (TRY2012), 30,8 °C (TRY2030), 31,2 °C (TRY2050) ja 30,4 °C (TRY2100). Nämä suurimmat lämpötilat on kaikki saavutettu ”Makuuhuone 4:ssä”.

Sähköllä lämmitetyn perustapauksen vastaavat lämpötilat on esitetty seuraavassa kuvassa. Kuvassa näkyy myös käsinlaskennalla saatu lämpötilakäyrä.



Kuva 4.43. Käsinlaskennalla määritetyt sisäilman kuukauden keskiarvolämpötilat, sekä IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset keskiarvot operatiivisille lämpötiloille. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. IDA-ICE:ssä käytetty TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja. Käsinlaskennassa käytetty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisia säätietoja. IDA-ICE:n lämpötilat on mitattu tilassa, johon kuuluvat olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone.

Käsinlaskennan käyrä on tässä tapauksessa selvästi korkeammalla kuin muut käyrät kesäkuukausina. Muuten käyrät ovat suunnilleen samanmuotoiset kuin kaukolämmiteillä rakennuksella. Arvot vain ovat hieman suuremmat. Koko vuoden sisäilman keskilämpötila oli käsinlaskennan mukaan 22,7 °C. IDA-ICE-laskennassa vuoden keskimääräiseksi sisäilman operatiivisiksi lämpötiloiksi saatiin 22,2 °C (TRY2012), 22,4 °C (TRY2030), 22,5 °C (TRY2050) ja 22,5 °C (TRY2100). Kesällä sisälämpötilat kasvavat laskennan mukaan hieman, mutta talven sisälämpötila pysyy tietysti melko vakiona. Tästä syystä koko vuoden keskiarvoissa ei ole tapahtunut suuria muutoksia. Suurimmat mitatut operatiiviset lämpötilat missä tahansa huoneessa koko simulaatiovuoden aikana olivat 30,6 °C (TRY2012), 31,0 °C (TRY2030), 31,4 °C (TRY2050) ja 30,6 °C (TRY2100). Kaikki nämä suurimmat lämpötilat on saatu ”Makuuhuone 4:ssä”.

Liitteessä 5 on esitetty käsinlaskennan tuloksia kaikille rakennuksen variaatioille sisäilman keskilämpötilan osalta. Liitteessä 6 on esitetty taulukoita IDA-ICE:lla mitatuista sisäilman keskilämpötiloista tässä kappaleessa tutkituille tapauksille. Lisäksi samassa liitteessä on esitetty A- ja B-energiatlehokkuusluokkien asetuksilla lasketut sisälämpötilat. Kaikki liitteissä esitetyt IDA-ICE:lla lasketut lämpötilat on esitetty myös tulevaisuuden testivuosilla laskettuina.

#### 4.4 Tulosten tarkastelu

Laskentojen perusteella voidaan todeta, että jäähdytykseen kuluva energia on pieni verrattuna lämmitykseen kuluvaan energiaan. Huomioon tulee ottaa myös se, että todellisuudessa jäähdytyslaitteet eivät olisi koko ajan päällä. Matkalle tai vaikka töihinkin lähtiessä jäähdytyslaitteet luultavimmin laitettaisiin pois päältä. Lämmitys taas on oletettavasti koko lämmityskauden ajan päällä, vaikka kotoa muualle lähdettäisiinkin. Lämmitys löytyy asunnossa joka huoneessa. Jäähdytintä ei välttämättä joka huoneeseen hankita. Jäähdytys saattaisi olla esimerkiksi olohuoneessa ja makuuhuoneissa, joissa vietetään kotona eniten aikaa. Jäähdytyslaitteen hankkiminen esimerkiksi olohuoneeseen on siinä mielessä perusteltua. Yhdellä tai kahdella jäähdytyslaitteella pärjäisi luultavasti koko talossa hyvin.

Ilma-ilmalämpöpumppua lämmitystarkoitukseen harkittaessa kannattaa ottaa huomioon myös sen tuoma jäähdytysmahdollisuus. Ilma-ilmalämpöpumpun hinta vaihtelee karkeasti 1000 - 2000 € välillä. Tämä hinta ei ole suuri, jos sitä vertaa asunnon ostohintaan. Yksinkertaistettuna voisi sanoa, että prosentti asunnon ostohintaan lisää, niin saa ilma-ilmalämpöpumpun mukana. Säästöä tulee lämmityskustannuksissa, joten lämpöpumppu voi siinä mielessä maksaa itsensä takaisin. Pelkkä jäähdytyslaite voi olla sitäkin halvempi. Siirrettävän jäähdytyslaitteen voi saada ostettua alle 500 eurolla, mutta huomattavasti kalliimpiakin on tietysti olemassa. Siirrettävä jäähdytyslaite on siitakin kätevä, että sen saa siirrettyä huoneesta toiseen tai vaikka otettua kesämokille mukaan.

Itse jäähdyttäminen on halpaa. Jos ajatellaan sähkön hinnan olevan 0,10 €/kWh, niin 1000 kWh maksaisi 100 €. Tutkittavan rakennuksen tapauksella tämä määrä on neliötä kohden 7,2 kWh/m<sup>2</sup>. Tällä määrällä voidaan jäähdyttää mikä tahansa tässä diplomityössä tutkituista rakennuksen versioista 21 °C:seen. Jäähdytysraja voisi todellisessa rakennuksessa olla esimerkiksi 24 °C. Tällöin suurinkin kulutus olisi vain noin 3 kWh/m<sup>2</sup>. Kun jäähdytysraja oli 24 °C, perustapauksen kaukolämmitetyn talon jäähdytysjärjestelmän energiankulutukseksi saatiin IDA-ICE:lla 0,55 kWh/(m<sup>2</sup>a) eli yhteensä 76 kWh. Tämä sähköenergia maksaisi noin 7,6 € vuodessa. Merkittävin rahanmeno on siis jäähdyttimen hankkiminen. Asumismukavuus lisääntyy siinä määrin, että jäähdytysjärjestelmän hankkiminen kotiin voisi olla hyvinkin järkevää useissa tapauksissa. Jäähdyttää voi toisaalta myöskin esimerkiksi verhoja käyttämällä tai avaamalla varjon puoleiset ikkunat. Tällaisia passiivisia ratkaisuja ei lämmitykseen juurikaan löydy. Vaate-tuksen lisääminen toki toimii lämmityksen suhteen tämän tyyppisenä auttavana keinona.

Jos rakennusvaipan lämmöneristystä parannetaan, niin rakennuksen sisälle syntyvä lämpökuorma kasvaa. Tämä vähentää lämmitystarvetta, mutta kasvattaa jäähdytystarvetta. Rakennukseen saatetaan joutua hankkimaan koneellinen jäähdytys tämän seurauksena. Jotta ratkaisu olisi energiansäästön kannalta onnistunut, niin tulee jäähdytyslaitteiden kuluttaman energian olla pienempi kuin lämmityksessä säästyneen energian. Mitä suurempi jäähdytysenergian tuottoprosessin vuotuinen kylmäkerroin on, sitä todennäköisemmin tämä ehto toteutuu. Tässä diplomityössä kylmäkertoimen arvo oli 3,0, ja jäähdytyslaitteiden kuluttama energia oli pienempi kuin lämmityksessä säästynyt energia.

Lämmityksen energiankulutuksessa syntyvät erot käsinlaskennan ja IDA-ICE-laskennan tuloksien välillä johtunevat paljon siitä, että käsinlaskennassa käytetään kuukauden keskiarvolämpötiloja. IDA-ICE-laskennassa lämpötilat ovat tunnittaisia. Silloin laskentaan tulevat mukaan alhaisimmatkin lämpötilat. Kuvitellaan, että käsinlaskennalla saataisiin aikaan rakennus, joka ei kuluttaisi yhtään energiaa tilojen lämmittämiseen. Rakennuksessa olisi niin paksu ja tiivis vaippa, että sisäiset lämpökuormat saisivat pidettyä rakennuksen lämpötilan vähintään 21 °C:ssa kylmimpinäkin kuukausina. Sama rakennus mallinnettaisiin IDA-ICE:ssa. Tällöin mukaan tulisivat kylmimmätkin tunnit, jolloin yhtäkkiä tarvittaisiinkin lämmitysenergiaa. RakMK:n osan D3 (2012) mukaisia kuukausittaisia keskilämpötiloja käyttäen kylmin kuukausi on helmikuu. Silloin lämpötila säävyöhykkeillä I ja II on -4,50 °C. IDA-ICE:ssa käytetyssä säätiedostossa TRY2012 helmikuusta löytyy yli neljän päivän mittainen ajanjakso jolloin lämpötila on D3:n helmikuun keskilämpötilaa alhaisempi joka tuntina. TRY2012:ssa löytyy jopa alle -20 °C:een lämpötiloja. Tällaisilla ulkolämpötilan arvoilla tarvitaan lämmitystä, oli rakennus käytännössä millainen tahansa. Tätä teoriaa vahvistaa se, että IDA-ICE:lla lasketun lämmitysenergian tarpeen ero käsinlaskentaan verrattuna suurenee, kun vaipan eristyspaksuus kasvaa ja kylmäsiilat pienenevät.

Kaikissa IDA-ICE-simulaatioissa väliovet ovat olleet suljettuja. Tästä syystä yhteen huoneeseen auringonsäteilyn mukana tullut lämpöenergia ei ole päässyt leviämään muihin huoneisiin niin tehokkaasti. Kaikille välioville on asetettu vuotoalaa 0,01 m<sup>2</sup>. Lämmin ilma ei pääse suljettujen ovien takia sekoittumaan huoneiden välillä niin tehokkaasti. Tämä on saattanut kasvattaa lämmitysenergian tarvetta. Sama koskee jäähdytysenergiaa.

Käsinlaskennassa henkilöistä tuleva lämpökuorma on laskettu RakMK:n osan D3 (2012) mukaisesti lämpökuormaa 2 W/m<sup>2</sup> käyttäen. Tämä arvo ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, joten arvo on jaettu 0,6:lla ja tämän lisäksi kerrottu käyttöasteella 0,6. Henkilöistä tulevaksi lämpökuormaksi on saatu noin 2400 kWh/a käsinlaskennassa. IDA-ICE:ssa huoneisiin on sijoitettu D3:n (2012) henkilötiheyden mukainen määrä ihmisiä 1 hlö/43 m<sup>2</sup>, joka on kerrottu käyttöasteella 0,6. IDA-ICE:ssa henkilöistä tuleva lämpökuorma määräytyy ihmisten vaatetuksen ja aktiivisuuden perusteella. Henkilöistä tulevaksi lämpökuormaksi IDA-ICE:ssa saatiin noin 2100 kWh/a. Tämä lämpökuorma sisältää sekä kuivan, että kosteuteen sitoutuneen lämmönluvutuksen. Henkilöistä tuli siis IDA-ICE-laskennassa noin 12 % vähemmän lämpökuormaa kuin käsinlaskennassa. Tästä on syntynyt laskentatapojen välistä eroa lämmitystarvetta ja jäähdytystarvetta laskettaessa.

RakMK:n osan D2 vuoden 2012 versiossa on asetettu vaatimuksia sisäilman lämpötiloille. Rakennuksen käyttöaikana oleskeluvyöhykkeen lämpötila ei saa yleensä olla korkeampi kuin 25 °C. Suuremmat lämpötilat kuitenkin sallitaan, jos ulkoilman viiden tunnin enimmäisjakson lämpötilojen keskiarvo on suurempi kuin 20 °C. Tällöin sisäilma saa olla maksimissaan 5 °C ulkoilmaa lämpimämpää. Eli esimerkiksi ulkolämpötilan keskiarvon ollessa 23 °C, sisäilmalle sallitaan lämpötila 28 °C. Vaikka tutkimuksessa rakennuksessa ei olisi ollenkaan sisäilman jäähdytystä, niin nämä D2:n ehdot täyttyvät.



## 5 YHTEENVETO

Diplomityössä oli päätarkoituksena tutkia pientalon koneellista jäähdytystarvetta. Pientalon jäähdytyksen tutkiminen on mielenkiintoista siksi, että sitä ei nykyisten Suomen Rakentamismääräyskokoelman ohjeiden mukaan tarvitsisi tutkia. Tarkoituksena oli selvittää miten jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen lasketut arvot eroavat toisistaan IDA-ICE-simuloinnin ja RakMK:n osan D5 (2007) mukaisen käsinlaskennan osalta. Tutkittavan rakennuksen eri variaatioilla pyrittiin selvittämään mitkä tekijät luovat eniten eroa eri laskentamenetelmillä saatujen tulosten välille. Tutkinnan alla olivat myös rakennuksen kokonaisenergiankulutukset ja niiden laskenta IDA-ICE:lla sekä RakMK:n osien D3 (2012) ja D5 (2012) ohjeiden mukaisilla käsinlaskentakaavoilla.

IDA-ICE:lla lasketut jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset olivat käytännössä joka tilanteessa suuremmat kuin käsinlasketut arvot. Verhojen käyttö loi paljon eroa laskentatapojen välille. Voidaan todeta, että mitä pienempi rakennuksen sisäinen lämpökuorma on, sitä suurempi on ero laskentamenetelmien välillä. Voidaan myös yksinkertaistaen todeta, että mitä suurempi on sisäinen lämpökuorma ja mitä alhaisempi on jäähdytysraja, sitä lähempänä laskentamenetelmien tulokset jäähdytysjärjestelmien energiankulutuksen osalta ovat toisiaan.

Käsinlaskennan ja IDA-ICE-laskennan tuloksien merkittävin ero jäähdytystarpeen laskennassa on silloin kun jäähdytysraja on korkeampi. Kuukauden keskilämpötiloja käytettäessä jäähdytykseen ei kulu laskennan mukaan energiaa ylemmillä jäähdytysrajan arvoilla. IDA-ICE käyttää tunnin mittaisia aika-askelia säätiedoissa, jolloin lämpötilojen huippuarvot ja alimmat pohjat tulevat otetuksi huomioon. Käsinlaskennalla saadaan siis helposti sellainen käsitys, ettei sisälämpötila nousisi yli 25 °C:een. Näin ollen jäähdytystä ei tarvittaisi. Todellisuudessa sisäilman lämpötila voi hetkellisesti nousta hyvinkin paljon yli tuon lämpötilan. Tämä lienee syy siihen, että kuukausitason käsinlaskentaohjeita ei enää nähdä RakMK:n osan D5 uusimmassa versiossa (2012).

RakMK:n osan D3 vuoden 2012 versiossa erillisen pientalon sekä rivi- ja ketjutalon jäähdytysrajan arvoksi on asetettu 27 °C. Ainoa tässä diplomityössä tutkituista rakennuksista, joka tarvitsi käsinlaskennan mukaan jäähdytystä tuolla jäähdytysrajan arvolla, oli A-energiatehokkuusluokan asetuksilla varustettu rakennus. Tässä pientalossa rakennusvaipan eristepaksuudet olivat suuria ja ilmatiiviys hyvä. Käsinlasketuissa muissa tutkittavan talon versioissa ei tarvittu lainkaan jäähdytystä tuolla jäähdytysrajalla. Olisi siis turhaa tutkia rakennuksen jäähdytystarpeita käsinlaskennalla, jos jäähdytysrajana käytettäisiin Rakentamismääräyskokoelman mukaisia arvoja. IDA-ICE-laskennan tuloksien mukaan sen sijaan jokaisessa tutkitussa rakennuksen variaatiossa tarvittiin jäähdytystä, kun jäähdytysrajan arvo oli tuo 27 °C. Jäähdytystarve oli kuitenkin varsin vähäistä useimmissa tapauksissa. Tämän diplomityön perusteella se, että Rakentamismääräyskokoelman uudempien versioiden mukaan pientalojen kesäajan huonelämpötilojen vaatimuksenmukaisuutta ei tarvitse laskea, on perusteltua, jos jäähdytysrajana pidetään nykyistä 27 °C:tta. Varsinkin kun jäähdytystarve pitäisi laskea dynaamisella

laskentamenetelmällä. Toisaalta suuria ikkunapintoja omaavilla rakennuksilla jäähdytystarve voi olla merkittävästi suurempi. Lisäksi tutkitun rakennuksen asukasmäärä oli pienempi kuin mitä tämän kokoisessa rakennuksessa voisi todellisuudessa olla.

Kaukolämmitetyn rakennuksen perustapauksen jäähdyttämiseen kului käsinlaskennan mukaan energiaa 21 °C:een jäähdytysrajalla 2,25 kWh/(m<sup>2</sup>a), mutta jäähdytysrajan ollessa 23 °C ei jäähdytystä tapahtunut lainkaan. IDA-ICE:n mukaan 21 °C:een jäähdytysrajalla jäähdytysjärjestelmän energiankulutus oli 3,13 kWh/(m<sup>2</sup>a) ja 23 °C:een jäähdytysrajallakin kulutus oli vielä 1,08 kWh/(m<sup>2</sup>a). Sähköllä lämmitetyssä pientalossa vaippa oli vahvemmin eristetty, jonka seurauksena jäähdyttämiseen kului enemmän energiaa. Ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroimen korottaminen kasvatti jäähdytystarvetta paljon. Ikkunoista tuli tällöin huomattavasti enemmän lämpökuormaa auringsäteilyn mukana. Kyseinen toimenpide kasvatti IDA-ICE:n mukaan jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen noin kaksinkertaiseksi. Kaukolämmitetyn rakennuksen jäähdyttämiseen kului energiaa tällöin 21 °C:een jäähdytysrajalla 6,39 kWh/(m<sup>2</sup>a) ja 24 °C:een jäähdytysrajalla 2,13 kWh/(m<sup>2</sup>a). Sähköllä lämmitetty rakennus, jonka ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerrointa oli korotettu, sai 21 °C:een jäähdytysrajalla arvon 7,34 kWh/(m<sup>2</sup>a) ja 24 °C:een jäähdytysrajalla arvon 2,79 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Tulevaisuuden testivuotia käytettäessä huomattiin, että jäähdytystarpeen kasvu oli yllättävän pientä tulevaisuuteen mentäessä. Joillakin tutkittavilla tapauksilla, kun jäähdytysraja oli alhainen, saatiin TRY2050-testivuodella suuremmat jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset kuin TRY2100-säätiedostoa käytettäessä. Lämmitystarve aleni jokaisen tulevaisuuden testivuoden välillä. Siinä mielessä tulevaisuudessa voitaisiin pärjätä alemmillakin rakennusvaipan eristepaksuuksilla.

Koneellisen jäähdytyksen laskettuja energiankulutuksia tutkittaessa tulee ottaa huomioon se, että tässä diplomityössä on käytetty jäähdytysenergian tuottoprosessin vuotuisena kylmäkertoimena arvoa 3,0. Jos kylmäkerroin on suurempi, niin energiaa kuluisi vähemmän. Vastaavasti pienemmällä kylmäkertoimella jäähdytysjärjestelmän kuluttama energia olisi suurempi. Tuotettu jäähdytysenergia on kylmäkertoimesta huolimatta sama. Tässä tutkimuksessa tuotettu jäähdytysenergia on siis kolminkertainen jäähdytysjärjestelmän energiankulutukseen verrattuna.

Tutkittavan pientalon E-luvun yläraja oli 178 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Kaikki tutkitun rakennuksen versiot alittivat tämän rajan. Sähköllä lämmitetyssä rakennuksessa käytettiin lisälämmitysjärjestelmiä, joita ilman sähköllä lämmitetyn rakennuksen perustapaus ei olisi alittanut E-luvun ylärajaa. Seuraavassa taulukossa on esitettyä yhteenvetona käsinlaskennalla ja IDA-ICE-laskennalla määritetyt E-luvut kaikilla tutkituilla pientaloilla. Taulukossa IDA-ICE:lla lasketut tulokset on saatu TRY2012-säätiedostoa käyttäen ja käsinlaskennan tulokset RakMK:n osan D3 (2012) mukaisia kuukausittaisia säätietoja käyttäen. Näissä E-luvuissa ei ole otettu jäähdytystä huomioon.

*Taulukko 5.1. IDA-ICE:lla ja käsinlaskennalla määritetyt E-luvut kaikilla tutkituilla pientalon tapauksilla, kun IDA-ICE:ssa käytetty TRY2012-säätiiedostoa ja käsinlaskennassa käytetty RakMK:n osan D3 (2012) mukaisia säätietietoja.*

	Käsin- laskenta	IDA-ICE- laskenta	
Perustapaus, kaukolämmitetty rakennus	154	155	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Perustapaus, sähköllä lämmitetty rakennus	161	165	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Verhot sisältävä tapaus, kaukolämmitetty rakennus	157	156	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Verhot sisältävä tapaus, sähköllä lämmitetty rakennus	165	166	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Käännetty rakennus, kaukolämmitetty rakennus	154	155	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Käännetty rakennus, sähköllä lämmitetty rakennus	161	165	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerrointa korotettu, kaukolämmitetty rakennus	148	151	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerrointa korotettu, sähköllä lämmitetty rakennus	151	158	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Käsinlaskennalla saavutettu Energiatehokkuusluokka B, sähköllä lämmitetty rakennus	140	148	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Käsinlaskennalla saavutettu Energiatehokkuusluokka A, sähköllä lämmitetty rakennus	85	94	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)

Ainoa tutkittavan pientalon versio, jolla IDA-ICE-laskennassa saatiin pienempi E-luku kuin käsinlaskennassa oli kaukolämmitetty rakennus, jossa käytettiin verhoja. Silloinkin ero oli vain 1 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Kaikissa muissa tapauksissa käsinlaskennalla saadut E-luvut olivat IDA-ICE-laskennalla saatuja lukuja pienempiä.

Kaukolämmitetyllä perustapauksella IDA-ICE-laskennalla saatiin E-luku 155 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a), kun vastaava käsinlaskennalla saatu E-luku oli 154 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Sähköllä lämmitetty perustapaus sai IDA-ICE-laskennalla E-luvun 165 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) ja käsinlaskennalla 161 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Laskentamenetelmien välinen ero oli siis suurempi sähköllä lämmitetyllä pientalolla. Suurempi eristyspaksuus ja lisälämmitysjärjestelmät luultavasti kasvattivat eroa laskentamenetelmien välillä. Verhojen käyttö suurensi E-lukua, vaikka verhoja käytettiin vain touko-syyskuussa.

Rakennuksen kääntäminen ei vaikuttanut E-lukuun, koska vastakkaisten ulkoiseinien ikkunapinta-aloissa ei ollut juurikaan eroa. Ikkunoiden auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin korottamisen seurauksena IDA-ICE:lla saatiin kaukolämmitysratkaisulla E-luku 151 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Vastaava E-luku käsinlaskettuna oli 148 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Sähköllä lämmitetyn pientalon E-luvut olivat IDA-ICE:lla 158 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a) ja käsinlaskennalla 151 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Ikkunan ominaisuuksien muuttaminen kasvatti laskentatapojen välille syntyvää eroa. IDA-ICE-ohjelmassa ikkunat mallinnetaan tarkemmin kuin käsinlaskennassa, jossa ikkunoiden ominaisuudet on yksinkertaistettu.

Käsinlaskennassa saavutettiin sähköllä lämmitetyllä pientalolla energiatehokkuusluokka B:n raja 140 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a), kun rakennukselle tehtiin tarvittavat muutokset. IDA-ICE:ssa tehtiin samat muutokset ja saatiin E-luku 148 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a). Tämä laskentamenetelmien tulosten välinen erotus koostuu lähes kokonaisuudessaan lämmityksen energiankulutuksesta.

Sähköllä lämmitetty pientalo saavutti suoritettujen parannustoimenpiteiden jälkeen käsinlaskennassa A-energiatehokkuusluokan rajan  $85 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . IDA-ICE:ssa suoritettiin samat muutokset, jolloin E-luvuksi saatiin  $94 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ . Ero laskentatapojen tulosten välillä oli suurin tällä pientalon versiolla. Käsinlaskenta suoritettiin käyttäen ulkoilman kuukauden keskimääräisiä lämpötiloja. Käsinlaskennassa ei oteta alimpia lämpötiloja samalla tavalla huomioon kuin IDA-ICE:ssa. Alimmat lämpötilat nostavat lämmitystarvetta. IDA-ICE:ssa tapahtuu lämmitystarpeen vaihteluita saman päivän aikana, kun taas käsinlaskennassa rakennuksen lämmitystarve on vakio koko kuukauden ajan. Tästä syntyy eroja laskentamenetelmien tulosten välille.

Sisäilman lämpötilojen käsinlaskennassa käytettiin RakMK:n osan D5 (2007) mukaisia kaavoja. Nämä kaavat eivät ole enää käytössä. Käsinlasketut sisäilman lämpötilojen kuukausittaiset keskiarvot olivat kesällä suurempia kuin IDA-ICE:lla lasketut arvot. Erot olivat laskentatapojen välillä jopa yli  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ :een suuruisia. Talvella IDA-ICE:lla lasketut sisälämpötilojen keskiarvot olivat hieman suurempia kuin käsinlaskennalla saadut arvot. Lämpimin kuukausi oli heinäkuu, jolloin esimerkiksi kaukolämmitetyn rakennuksen perustapauksessa saatiin käsinlaskennassa sisäilmalle keskiarvo  $25,0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vastaava IDA-ICE:ssa saatu keskiarvo oli  $23,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , kun käytettiin TRY2012-säätiestoa.

## LÄHTEET

Equa Simulations AB, IDA Indoor Climate and Energy, HTML Help, 2013. [Viitattu 29.8.2013]

Heikkilä, M. Opinnäytetyö 2009. Opas MET-arvojen käytöstä, Kirjallisten ohjeistuksen kehittäminen fysioterapeuteille ja fysioterapeuttiopiskelijoille. [Viitattu 22.7.2013].

Ilmatieteen laitos, Rakennusten energialaskennan ilmastolliset testivuodet. [WWW]. [Viitattu 26.8.2013]. Saatavissa:  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/rakennusten-energialaskennan-testivuosi>

Jeld-Wen Door Solutions, Energiatohkeat ulko-ovet. [WWW]. [Viitattu 1.4.2014]. Saatavissa:  
[http://www.jeld-wen.fi/ideat/ulko\\_ovi\\_ideat/artikkelit\\_ulko\\_ovet/energiatohkeat\\_ulko\\_ovet/](http://www.jeld-wen.fi/ideat/ulko_ovi_ideat/artikkelit_ulko_ovet/energiatohkeat_ulko_ovet/)

Kajava, N. Kandidaatintyö 2012. Uusien energiamääräysten täyttäminen suoraa sähkölämmitystä käyttävissä pientaloissa. [Viitattu 3.7.2013].

Limic Oy, Led-valo ja sähkönsäästö, 2007. [WWW]. [Viitattu 1.4.2014]. Saatavissa:  
[http://www.limic.fi/pdf/LED-valo\\_ja\\_energia.pdf](http://www.limic.fi/pdf/LED-valo_ja_energia.pdf)

Manner, J. Opinnäytetyö 2013. SFP-luku LVI-suunnittelussa. [Viitattu 16.8.2015].

Passiivi.info, Ohjeita passiivitalon arkkitehtisuunnitteluun, Passiivitalon määritelmä. [WWW]. [Viitattu 28.3.2014]. Saatavissa:  
<http://www.passiivi.info/data.php?sivu=maarittely>

Pilkington, Lasifakta 2012. [WWW]. [Viitattu 18.1.2014]. Saatavissa:  
<http://www.pilkington.com/fi-fi/fi/lasiratkaisuja-kotitalouksille/lasifakta-2012>

Rakennustietosäätiö RTS, RT 07-10741 Sisäilmastoluokitus 2000, 2001. [Viitattu 7.8.2014].

Rakennustietosäätiö RTS, RT 07-10946 Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäilmaston tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset, 2009. [Viitattu 7.8.2014].

Sisäilmayhdistys, Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokitus, 15.6.1995. [Viitattu 24.8.2014].

Tilastokeskus, Asunnot ja asuinolot 2014, Ahtaasti asuminen yleistyi edelleen pääkaupunkiseudulla vuonna 2014, 2015. [Viitattu 22.8.2015].

Ympäristöministeriö, D3 laskentaopas Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen, 14.9.2012. [Viitattu 17.10.2013].

Ympäristöministeriö, Suomen Rakentamismääräyskokoelma C4. Lämmöneristys, Ohjeet 2012 (luonnos 16.3.2012). [Viitattu 9.7.2013].

Ympäristöministeriö, Suomen Rakentamismääräyskokoelma D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2010. [Viitattu 4.9.2014].

Ympäristöministeriö, Suomen Rakentamismääräyskokoelma D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2012. [Viitattu 9.7.2013].

Ympäristöministeriö, Suomen Rakentamismääräyskokoelma D3. Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2010. [Viitattu 4.9.2014].

Ympäristöministeriö, Suomen Rakentamismääräyskokoelma D3. Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012. [Viitattu 8.7.2013].

Ympäristöministeriö, Suomen Rakentamismääräyskokoelma D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2007. [Viitattu 8.10.2013].

Ympäristöministeriö, Suomen Rakentamismääräyskokoelma D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2012. [Viitattu 8.7.2013].

Ympäristöministeriö, Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas, 12.9.2011. [Viitattu 19.7.2013].

Ympäristöministeriö, Suomen Rakentamismääräyskokoelma. Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 3.10.2012. [Viitattu 16.8.2015].

Ympäristöministeriö, Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta (765/2007), 19.6.2007. [Viitattu 21.8.2013].

Ympäristöministeriö, Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta (176/2013), 27.2.2013. [Viitattu 10.1.2014].

Ympäristöministeriö, Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta (5/13), D3 muutokset, 27.2.2013. [Viitattu 12.2.2014].

## LIITTEET

- |         |                                                                               |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------|
| LIITE 1 | Käsinlaskennan tuloksia E-luvun osalta                                        |
| LIITE 2 | IDA-ICE-laskennan tuloksia E-luvun osalta                                     |
| LIITE 3 | Käsinlaskennan tuloksia koneellisen jäähdytyksen energiankulutuksen osalta    |
| LIITE 4 | IDA-ICE-laskennan tuloksia koneellisen jäähdytyksen energiankulutuksen osalta |
| LIITE 5 | Käsinlaskennan tuloksia sisäilman kuukauden keskilämpötilan osalta            |
| LIITE 6 | IDA-ICE-laskennan tuloksia sisäilman lämpötilojen osalta                      |
| LIITE 7 | Esimerkkituloste IDA-ICE-laskennasta                                          |

## LIITE 1: KÄSINLASKENNAN TULOKSIA E-LUVUN OSALTA

*Taulukko LI. 1. Käsinslaskennan tuloksia E-luvun laskennan osalta. Kaukolämmitetty rakennus, perustapaus. Tarkastelu on tehty ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Rakennuksen ostoenergiankulutus ja E-luku	
	Koko vuosi
$Q_{\text{lämmitys, kaukolämpö}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	130,01
$W_{\text{lämmitys}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,09
$W_{\text{ilmanvaihto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$W_{\text{kuluttajalaitteet}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	15,77
$W_{\text{valaistus}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$E_{\text{osto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	166,88
<b>E-luku <math>[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]</math></b>	<b>154</b>

*Taulukko LI. 2. Käsinslaskennan tuloksia E-luvun laskennan osalta. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. Tarkastelu on tehty ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Rakennuksen ostoenergiankulutus ja E-luku	
	Koko vuosi
$Q_{\text{lämmitys, sähkö}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	50,84
$Q_{\text{lämmitys, puu}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	24,05
$W_{\text{lämmitys, LP}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	2,58
$W_{\text{lämmitys}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	6,57
$W_{\text{ilmanvaihto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	4,56
$W_{\text{kuluttajalaitteet}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	15,77
$W_{\text{valaistus}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$E_{\text{osto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	111,38
<b>E-luku <math>[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]</math></b>	<b>161</b>

*Taulukko LI. 3. Käsinslaskennan tuloksia E-luvun laskennan osalta. Kaukolämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Tarkastelu on tehty ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Rakennuksen ostoenergiankulutus ja E-luku	
	Koko vuosi
$Q_{\text{lämmitys, kaukolämpö}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	134,16
$W_{\text{lämmitys}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,09
$W_{\text{ilmanvaihto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$W_{\text{kuluttajalaitteet}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	15,77
$W_{\text{valaistus}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$E_{\text{osto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	171,04
<b>E-luku <math>[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]</math></b>	<b>157</b>



*Taulukko LI. 4. Käsinlaskennan tuloksia E-luvun laskennan osalta. Sähköllä lämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Tarkastelu on tehty ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Rakennuksen ostoenergiankulutus ja E-luku	
	Koko vuosi
$Q_{\text{lämmitys,sähkö}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	53,47
$Q_{\text{lämmitys,puu}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	24,05
$W_{\text{lämmitys,LP}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	2,58
$W_{\text{lämmitys}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	6,57
$W_{\text{ilmanvaihto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	4,56
$W_{\text{kuluttajalaitteet}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	15,77
$W_{\text{valaistus}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$E_{\text{osto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	114,00
<b>E-luku <math>[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]</math></b>	<b>165</b>

*Taulukko LI. 5. Käsinlaskennan tuloksia E-luvun laskennan osalta. Kaukolämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Tarkastelu on tehty ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Rakennuksen ostoenergiankulutus ja E-luku	
	Koko vuosi
$Q_{\text{lämmitys,kaukolämpö}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	130,01
$W_{\text{lämmitys}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,09
$W_{\text{ilmanvaihto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$W_{\text{kuluttajalaitteet}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	15,77
$W_{\text{valaistus}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$E_{\text{osto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	166,88
<b>E-luku <math>[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]</math></b>	<b>154</b>

*Taulukko LI. 6. Käsinlaskennan tuloksia E-luvun laskennan osalta. Sähköllä lämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Tarkastelu on tehty ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Rakennuksen ostoenergiankulutus ja E-luku	
	Koko vuosi
$Q_{\text{lämmitys,sähkö}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	50,87
$Q_{\text{lämmitys,puu}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	24,05
$W_{\text{lämmitys,LP}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	2,58
$W_{\text{lämmitys}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	6,57
$W_{\text{ilmanvaihto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	4,56
$W_{\text{kuluttajalaitteet}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	15,77
$W_{\text{valaistus}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$E_{\text{osto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	111,40
<b>E-luku <math>[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]</math></b>	<b>161</b>

*Taulukko LI. 7. Käsinlaskennan tuloksia E-luvun laskennan osalta. Kaukolämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ). Tarkastelu on tehty ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Rakennuksen ostoenergiankulutus ja E-luku	
	Koko vuosi
$Q_{\text{lämmitys,kaukolämpö}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	121,76
$W_{\text{lämmitys}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,09
$W_{\text{ilmanvaihto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$W_{\text{kuluttajalaitteet}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	15,77
$W_{\text{valaistus}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$E_{\text{osto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	158,64
<b>E-luku <math>[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]</math></b>	<b>148</b>

*Taulukko LI. 8. Käsinlaskennan tuloksia E-luvun laskennan osalta. Sähköllä lämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ). Tarkastelu on tehty ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Rakennuksen ostoenergiankulutus ja E-luku	
	Koko vuosi
$Q_{\text{lämmitys,sähkö}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	45,20
$Q_{\text{lämmitys,puu}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	24,05
$W_{\text{lämmitys,LP}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	2,58
$W_{\text{lämmitys}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	6,57
$W_{\text{ilmanvaihto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	4,56
$W_{\text{kuluttajalaitteet}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	15,77
$W_{\text{valaistus}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$E_{\text{osto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	105,73
<b>E-luku <math>[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]</math></b>	<b>151</b>

*Taulukko LI. 9. Käsinlaskennan tuloksia E-luvun laskennan osalta. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin B-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa ( $140 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{a})$ ). Tarkastelu on tehty ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Rakennuksen ostoenergiankulutus ja E-luku	
	Koko vuosi
$Q_{\text{lämmitys,sähkö}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	39,09
$Q_{\text{lämmitys,puu}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	24,05
$W_{\text{lämmitys,LP}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	2,58
$W_{\text{lämmitys}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	6,57
$W_{\text{ilmanvaihto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	4,56
$W_{\text{kuluttajalaitteet}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	15,77
$W_{\text{valaistus}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$E_{\text{osto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	99,62
<b>E-luku <math>[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]</math></b>	<b>140</b>

*Taulukko LI. 10. Käsinlaskennan tuloksia E-luvun laskennan osalta. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin A-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (85 kWh/(m<sup>2</sup>a)). Tarkastelu on tehty ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Rakennuksen ostoenergiankulutus ja E-luku	
	Koko vuosi
$Q_{\text{lämmitys,sähkö}}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	28,42
$Q_{\text{lämmitys,puu}}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	0,00
$W_{\text{lämmitys,LP}}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	3,87
$W_{\text{lämmitys}}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	4,85
$W_{\text{ilmanvaihto}}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	2,10
$W_{\text{kuluttajalaitteet}}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	9,46
$W_{\text{valaistus}}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	0,84
$E_{\text{osto}}$ [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	49,54
<b>E-luku</b> [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	<b>85</b>

Seuraavissa kahdessa taulukossa on esitetty Natalia Kajavan kandidaatintyön, ”Uusien energiamäärysten täyttäminen suoraa sähkölämmitystä käyttävissä pientaloissa”, mukaisilla asetuksilla laskettu E-luku. Kokonaisenergiankulutus on kyseisessä kandidaatintyössä laskettu kauko-, pelletti-, öljy- sekä sähköllä lämmitetyille versioille rakennuksesta. Esitetään tässä kaukolämmitetyn ja sähköllä lämmitetyn version tulokset.

Kandidaatintyön rakennukset erosivat tämän diplomityön rakennuksista hieman. Tuloilmavirtana oli käytetty RakMk:n D5:n vuoden 2007 version mukaista poistoilmavirtaa kerrottuna luvulla 0,9, jolloin arvoksi oli saatu 0,36 dm<sup>3</sup>/(s m<sup>2</sup>). RakMk:n osan D3 vuoden 2012 version mukaan kokonaistulo- ja kokonaispoistoilmavirtojen suuruuksien tulisi olla laskennassa yhtä suuria. Kandidaatintyössä oli käytetty touko-syyskuussa verhoherrointa 0,3 ja muuten kerrointa 1,0. Verhojen osalta tässä työssä oli siis samat asetukset kuin tämän diplomityön verhot sisältävän tapauksen tutkinnassa. Kajavan laskuissa pesuhuoneissa käytettiin sähköistä lattialämmitystä, jonka hyötysuhde on 0,85. Lattialämmityksellä lämmitettiin 4,1 m<sup>2</sup> ja pattereilla 134,5 m<sup>2</sup>.

Lämpimän käyttöveden kulutuksena käytettiin arvoa 600 dm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>a), kuten kuu- luikin. Tämän jälkeen on kuitenkin julkaistu Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatohokkuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta (27.2.2013). Kyseisessä dokumentissa on esitetty RakMK:n osan D3 vuoden 2012 versioon tehtävät muutokset. Siellä todetaan, että jos pientalolla lämpimän käyttöveden lämmitysenergia ylittää vuodessa arvon 4200 kWh, niin käytetään tätä arvoa 4200 kWh vuosikulutuksena lämpimän käyttöveden lämmitykselle. Lämmitetyn nettoalan raja, jota suuremmissa taloissa nämä rajoitukset tulevat voimaan on noin 120 m<sup>2</sup>.

*Taulukko LI. 11. Käsinelaskennan tuloksia E-luvun laskennan osalta. Kaukolämmitetty rakennus, Natalia Kajavan kandidaatintyön mukaiset asetukset. Tarkastelu on tehty ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Rakennuksen ostoenergiankulutus ja E-luku	
	Koko vuosi
$Q_{\text{lämmitys,kaukolämpö}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	140,47
$W_{\text{lämmitys}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,10
$W_{\text{ilmanvaihto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$W_{\text{kuluttajalaitteet}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	15,77
$W_{\text{valaistus}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$E_{\text{osto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	177,36
<b>E-luku <math>[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]</math></b>	<b>161</b>

*Taulukko LI. 12. Käsinelaskennan tuloksia E-luvun laskennan osalta. Sähköllä lämmitetty rakennus, Natalia Kajavan kandidaatintyön mukaiset asetukset. Tarkastelu on tehty ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Rakennuksen ostoenergiankulutus ja E-luku	
	Koko vuosi
$Q_{\text{lämmitys,sähkö}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	61,14
$Q_{\text{lämmitys,puu}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	24,05
$W_{\text{lämmitys,LP}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	2,58
$W_{\text{lämmitys}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	6,57
$W_{\text{ilmanvaihto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	4,56
$W_{\text{kuluttajalaitteet}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	15,77
$W_{\text{valaistus}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	7,01
$E_{\text{osto}} [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$	121,68
<b>E-luku <math>[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]</math></b>	<b>178</b>

## LIITE 2: IDA-ICE-LASKENNAN TULOKSIA E-LUVUN OSALTA

*Taulukko L2. 1. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2012-säätiedostoa käyttäen. Kauko-lämmitetty rakennus, perustapaus. Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla os-toenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumput	1452	10,5	2468	17,8
Sähkölämmitys	83	0,6	141	1,0
Vesi, sähkö	622	4,5	1057	7,6
Jäähdytys, sähkö	76	0,5	129	0,9
Yhteensä, Kiinteistösähkö	3170	22,9	5389	38,9
Kaukolämmitys	11414	82,4	7990	57,6
Vesi, kaukolämpö	6626	47,8	4638	33,5
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	18040	130,2	12628	91,1
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	<b>23320</b>	<b>168,3</b>	<b>21604</b>	<b>155,9</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>23244</b>	<b>167,7</b>	<b>21475</b>	<b>154,9</b>

*Taulukko L2. 2. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2030-säätiedostoa käyttäen. Kauko-lämmitetty rakennus, perustapaus. Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla os-toenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumput	1453	10,5	2470	17,8
Sähkölämmitys	83	0,6	141	1,0
Vesi, sähkö	622	4,5	1057	7,6
Jäähdytys, sähkö	108	0,8	184	1,3
Yhteensä, Kiinteistösähkö	3203	23,1	5445	39,3
Kaukolämmitys	10428	75,2	7300	52,7
Vesi, kaukolämpö	6626	47,8	4638	33,5
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	17054	123,0	11938	86,1
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	<b>22367</b>	<b>161,4</b>	<b>20970</b>	<b>151,3</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>22259</b>	<b>160,6</b>	<b>20786</b>	<b>150,0</b>

*Taulukko L2. 3. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2050-säätiedostoa käyttäen. Kauko-lämmitetty rakennus, perustapaus. Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla os-toenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumput	1454	10,5	2472	17,8
Sähkölämmitys	83	0,6	141	1,0
Vesi, sähkö	622	4,5	1057	7,6
Jäähdytys, sähkö	133	1,0	226	1,6
Yhteensä, Kiinteistösähkö	3229	23,3	5489	39,6
Kaukolämmitys	9668	69,8	6768	48,8
Vesi, kaukolämpö	6626	47,8	4638	33,5
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	16294	117,6	11406	82,3
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	<b>21633</b>	<b>156,1</b>	<b>20482</b>	<b>147,8</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>21500</b>	<b>155,1</b>	<b>20256</b>	<b>146,1</b>

*Taulukko L2. 4. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2100-säätiedostoa käyttäen. Kauko-lämmitetty rakennus, perustapaus. Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla os-toenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumput	1455	10,5	2474	17,8
Sähkölämmitys	83	0,6	141	1,0
Vesi, sähkö	622	4,5	1057	7,6
Jäähdytys, sähkö	168	1,2	286	2,1
Yhteensä, Kiinteistösähkö	3265	23,6	5551	40,0
Kaukolämmitys	9113	65,8	6379	46,0
Vesi, kaukolämpö	6626	47,8	4638	33,5
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	15739	113,6	11017	79,5
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	<b>21114</b>	<b>152,3</b>	<b>20155</b>	<b>145,4</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>20946</b>	<b>151,1</b>	<b>19869</b>	<b>143,4</b>

*Taulukko L2. 5. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2012-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla ostoenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumpput	1099	7,9	1868	13,5
Sähkölämmitys	2432	17,5	4135	29,8
Vesi, sähkö	5529	39,9	9399	67,8
Jäähdytys, sähkö	105	0,8	179	1,3
Lämpöpumppu	357	2,6	607	4,4
Yhteensä, Kiinteistösähkö	10459	75,5	17781	128,3
Puulämmitys	3333	24,1	1667	12,0
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	<b>15903</b>	<b>114,7</b>	<b>23034</b>	<b>166,2</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>15798</b>	<b>114</b>	<b>22856</b>	<b>164,9</b>

*Taulukko L2. 6. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2030-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. Jäähdytysraja 24 °C Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla ostoenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumpput	1101	7,9	1872	13,5
Sähkölämmitys	1858	13,4	3159	22,8
Vesi, sähkö	5529	39,9	9399	67,8
Jäähdytys, sähkö	140	1,0	238	1,7
Lämpöpumppu	357	2,6	607	4,4
Yhteensä, Kiinteistösähkö	9922	71,6	16868	121,7
Puulämmitys	3333	24,1	1667	12,0
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	<b>15366</b>	<b>110,9</b>	<b>22121</b>	<b>159,6</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>15226</b>	<b>110</b>	<b>21883</b>	<b>157,9</b>

*Taulukko L2. 7. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2050-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla ostoenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumpput	1102	8,0	1873	13,5
Sähkölämmitys	1429	10,3	2429	17,5
Vesi, sähkö	5529	39,9	9399	67,8
Jäähdytys, sähkö	167	1,2	284	2,0
Lämpöpumppu	357	2,6	607	4,4
Yhteensä, Kiinteistösähkö	9521	68,7	16186	116,8
Puulämmitys	3333	24,1	1667	12,0
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	14965	108,0	21440	<b>154,7</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	14798	107	21156	<b>152,6</b>

*Taulukko L2. 8. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2100-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla ostoenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumpput	1103	8,0	1875	13,5
Sähkölämmitys	1097	7,9	1865	13,5
Vesi, sähkö	5529	39,9	9399	67,8
Jäähdytys, sähkö	193	1,4	328	2,4
Lämpöpumppu	357	2,6	607	4,4
Yhteensä, Kiinteistösähkö	9216	66,5	15668	113,0
Puulämmitys	3333	24,1	1667	12,0
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	14660	105,8	20921	<b>150,9</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	14467	104	20593	<b>148,6</b>



*Taulukko L2. 9. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2012-säätiedostoa käyttäen. Kauko-lämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla ostoenenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumpput	1452	10,5	2468	17,8
Sähkölämmitys	83	0,6	141	1,0
Vesi, sähkö	622	4,5	1057	7,6
Jäähdytys, sähkö	42	0,3	71	0,5
Yhteensä, Kiinteistösähkö	3136	22,6	5331	38,5
Kaukolämmitys	11531	83,2	8072	58,2
Vesi, kaukolämpö	6626	47,8	4638	33,5
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	18157	131,0	12710	91,7
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	<b>23403</b>	<b>168,9</b>	<b>21628</b>	<b>156,0</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>23361</b>	<b>168,5</b>	<b>21557</b>	<b>155,5</b>

*Taulukko L2. 10. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2012-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla ostoenenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh <sub>E</sub>	kWh <sub>E</sub> /m <sup>2</sup>
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumpput	1099	7,9	1868	13,5
Sähkölämmitys	2500	18,0	4250	30,7
Vesi, sähkö	5529	39,9	9399	67,8
Jäähdytys, sähkö	60	0,4	102	0,7
Lämpöpumppu	357	2,6	607	4,4
Yhteensä, Kiinteistösähkö	10482	75,6	17820	128,6
Puulämmitys	3333	24,1	1667	12,0
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	<b>15926</b>	<b>114,9</b>	<b>23073</b>	<b>166,5</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>15866</b>	<b>114</b>	<b>22971</b>	<b>165,7</b>

*Taulukko L2. 11. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2012-säätiedostoa käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla ostoenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumpput	1453	10,5	2470	17,8
Sähkölämmitys	83	0,6	141	1,0
Vesi, sähkö	622	4,5	1057	7,6
Jäähdytys, sähkö	94	0,7	160	1,2
Yhteensä, Kiinteistösähkö	3189	23,0	5421	39,1
Kaukolämmitys	11416	82,4	7991	57,7
Vesi, kaukolämpö	6626	47,8	4638	33,5
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	18042	130,2	12629	91,1
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	<b>23341</b>	<b>168,4</b>	<b>21638</b>	<b>156,1</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>23247</b>	<b>167,7</b>	<b>21478</b>	<b>155,0</b>

*Taulukko L2. 12. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2012-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla ostoenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumpput	1100	7,9	1870	13,5
Sähkölämmitys	2427	17,5	4126	29,8
Vesi, sähkö	5529	39,9	9399	67,8
Jäähdytys, sähkö	125	0,9	213	1,5
Lämpöpumppu	357	2,6	607	4,4
Yhteensä, Kiinteistösähkö	10475	75,6	17808	128,5
Puulämmitys	3333	24,1	1667	12,0
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	<b>15919</b>	<b>114,9</b>	<b>23062</b>	<b>166,4</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>15794</b>	<b>114</b>	<b>22849</b>	<b>164,9</b>

*Taulukko L2. 13. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2012-säätiestoa käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ), Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla ostoennergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumput	1452	10,5	2468	17,8
Sähkölämmitys	83	0,6	141	1,0
Vesi, sähkö	622	4,5	1057	7,6
Jäähdytys, sähkö	295	2,1	502	3,6
Yhteensä, Kiinteistösähkö	3389	24,5	5761	41,6
Kaukolämmitys	10543	76,1	7380	53,2
Vesi, kaukolämpö	6626	47,8	4638	33,5
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	17169	123,9	12018	86,7
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	<b>22668</b>	<b>163,5</b>	<b>21367</b>	<b>154,2</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>22373</b>	<b>161,4</b>	<b>20865</b>	<b>150,5</b>

*Taulukko L2. 14. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2012-säätiestoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ), Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla ostoennergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumput	1101	7,9	1872	13,5
Sähkölämmitys	1852	13,4	3149	22,7
Vesi, sähkö	5529	39,9	9399	67,8
Jäähdytys, sähkö	387	2,8	658	4,7
Lämpöpumppu	357	2,6	607	4,4
Yhteensä, Kiinteistösähkö	10163	73,3	17278	124,7
Puulämmitys	3333	24,1	1667	12,0
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	<b>15607</b>	<b>112,6</b>	<b>22531</b>	<b>162,6</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>15220</b>	<b>110</b>	<b>21873</b>	<b>157,8</b>

*Taulukko L2. 15. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2012-säätiestoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin B-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (140 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)). Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla ostoenegiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenegiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumput	1099	7,9	1868	13,5
Sähkölämmitys	2490	18,0	4233	30,5
Vesi, sähkö	4016	29,0	6827	49,3
Jäähdytys, sähkö	93	0,7	158	1,1
Lämpöpumppu	357	2,6	607	4,4
Yhteensä, Kiinteistösähkö	8992	64,9	15287	110,3
Puulämmitys	3333	24,1	1667	12,0
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	<b>14436</b>	<b>104,2</b>	<b>20540</b>	<b>148,2</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>14343</b>	<b>103</b>	<b>20382</b>	<b>147,1</b>

*Taulukko L2. 16. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2012-säätiestoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin A-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (85 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)). Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla ostoenegiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenegiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	112	0,8	191	1,4
Puhaltimet ja pumput	572	4,1	973	7,0
Sähkölämmitys	1839	13,3	3126	22,6
Vesi, sähkö	3334	24,1	5667	40,9
Jäähdytys, sähkö	423	3,1	719	5,2
Lämpöpumppu	536	3,9	911	6,6
Yhteensä, Kiinteistösähkö	6816	49,2	11587	83,6
Puulämmitys		0,0	0	0,0
Kuluttajalaitteet, sähkö	1266	9,1	2152	15,5
<b>Yhteensä</b>	<b>8082</b>	<b>58,3</b>	<b>13739</b>	<b>99,1</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>7659</b>	<b>55</b>	<b>13020</b>	<b>93,9</b>

*Taulukko L2. 17. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2012-säätiedostoa käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, Natalia Kajavan kandidaatintyön mukaiset asetukset. Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla ostoenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumpput	1357	9,8	2307	16,6
Sähkölämmitys	83	0,6	141	1,0
Vesi, sähkö	622	4,5	1057	7,6
Jäähdytys, sähkö	42	0,3	71	0,5
Yhteensä, Kiinteistösähkö	3041	21,9	5170	37,3
Kaukolämmitys	11697	84,4	8188	59,1
Vesi, kaukolämpö	7331	52,9	5132	37,0
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	19028	137,3	13320	96,1
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	<b>24179</b>	<b>174,5</b>	<b>22076</b>	<b>159,3</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>24137</b>	<b>174,1</b>	<b>22005</b>	<b>158,8</b>

*Taulukko L2. 18. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden energiankulutukset TRY2012-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, Natalia Kajavan kandidaatintyön mukaiset asetukset. Jäähdytysraja 24 °C. Kokonaisenergiankulutus on laskettu kertomalla ostoenergiankulutus energiamuotojen kertoimilla. Lopullinen E-luku on taulukon oikeassa alakulmassa.*

	Ostoenergiankulutus		Kokonaisenergiankulutus	
	kWh/a	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh <sub>E</sub> /a	kWh <sub>E</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Valaistus, sähkö	937	6,8	1593	11,5
Puhaltimet ja pumpput	1037	7,5	1763	12,7
Sähkölämmitys	2588	18,7	4400	31,7
Vesi, sähkö	6384	46,1	10853	78,3
Jäähdytys, sähkö	62	0,4	105	0,8
Lämpöpumppu	357	2,6	607	4,4
Yhteensä, Kiinteistösähkö	11365	82,0	19321	139,4
Puulämmitys	3333	24,1	1667	12,0
Kuluttajalaitteet, sähkö	2110	15,2	3587	25,9
	2110	15,2	3587	25,9
<b>Yhteensä</b>	<b>16809</b>	<b>121,3</b>	<b>24575</b>	<b>177,3</b>
<b>Yhteensä ilman jäähdytystä</b>	<b>16747</b>	<b>121</b>	<b>24469</b>	<b>176,5</b>

### LIITE 3: KÄSINLASKENNAN TULOKSIA KONEELLISEN JÄÄHDY- TYKSEN ENERGIANKULUTUKSEN OSALTA

*Taulukko L3. 1. Käsinlaskennan kulkua ja tuloksia jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksista. Kaukolämmitetty rakennus, perustapaus. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

[illegible]

**Taulukko L3. 2. Käsinlaskennan kulkua ja tuloksia jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksista. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.**

Q <sub>jäähdytys,tilat,netto</sub> [kWh]													
Kuukausi													Koko vuosi
Jäähdytysraja [°C]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
21	0,1	0,3	2,2	22,1	122,3	220,7	382,9	279,9	111,5	13,2	0,9	0,3	1156,52
22	-55,6	-50,9	-56,0	-38,3	49,9	137,6	271,7	192,2	54,1	-39,9	-50,2	-53,6	705,52
23	-119,4	-109,5	-122,6	-107,3	-32,9	42,5	144,4	92,0	-11,5	-100,8	-108,7	-115,1	278,93
24	-186,6	-171,2	-192,7	-180,1	-120,1	-57,6	10,4	-13,7	-80,7	-164,8	-170,3	-180,0	10,40
25	-256,1	-235,0	-265,2	-255,4	-210,3	-161,3	-128,3	-123,0	-152,3	-231,1	-234,0	-247,1	0,00
26	-327,4	-300,5	-339,5	-332,6	-302,9	-267,5	-270,5	-235,1	-225,7	-299,1	-299,4	-315,9	0,00
27	-400,1	-367,3	-415,4	-411,4	-397,3	-376,0	-415,6	-349,5	-300,6	-368,4	-366,1	-386,2	0,00
28	-474,1	-435,2	-492,6	-491,6	-493,3	-486,2	-563,1	-465,8	-376,7	-439,0	-433,9	-457,6	0,00
29	-549,1	-504,1	-570,9	-572,8	-590,7	-598,1	-712,8	-583,7	-454,0	-510,5	-502,7	-530,0	0,00
30	-625,1	-573,9	-650,1	-655,1	-689,3	-711,4	-864,4	-703,2	-532,2	-583,0	-572,3	-603,4	0,00

Koko vuosi										
Jäähdytysraja [°C]	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C	29°C	30°C
Q <sub>jäähdytys,tilat,netto</sub> [kWh]	1156,5	705,5	278,9	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
η <sub>jäähdytys</sub> tilat [-]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Q <sub>jäähdytys,tilat</sub> [kWh]	1285,0	783,9	309,9	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ε <sub>jäähdytys</sub> [kWh]	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Q <sub>jäähdytys,osto</sub> [kWh]	428,3	261,3	103,3	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus [kWh/(m² a)]	3,1	1,9	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

*Taulukko L3. 3. Käsinlaskennan kulkua ja tuloksia jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksista. Kaukoliämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

[illegible]

Taulukko L3. 4. Käsinlaskennan kulkua ja tuloksia jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksista. Sähköllä lämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.

[illegible]

**Taulukko L3. 5. Käsinlaskennan kulkua ja tuloksia jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksista. Kaukolämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.**

[illegible]

*Taulukko L3. 6. Käsinlaskennan kulkua ja tuloksia jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksista. Sähköllä lämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Q <sub>jäähdytys,tilat,netto</sub> [kWh]													
	Kuukausi												
Jäähdytysraja [°C]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Koko vuosi
21	0,1	0,3	2,2	22,1	122,8	220,5	382,4	281,1	111,3	13,2	0,9	0,3	1157,18
22	-55,6	-50,9	-56,0	-38,3	50,4	137,4	271,1	193,5	53,8	-40,0	-50,2	-53,6	706,23
23	-119,4	-109,5	-122,5	-107,4	-32,4	42,3	143,9	93,2	-11,8	-100,8	-108,7	-115,1	279,42
24	-186,6	-171,2	-192,6	-180,2	-119,6	-57,8	9,9	-12,5	-81,0	-164,8	-170,3	-180,0	9,88
25	-256,1	-235,0	-265,2	-255,5	-209,8	-161,5	-128,8	-121,8	-152,6	-231,1	-234,0	-247,1	0,00
26	-327,4	-300,5	-339,5	-332,7	-302,3	-267,7	-271,0	-233,9	-226,0	-299,1	-299,4	-315,9	0,00
27	-400,1	-367,3	-415,4	-411,5	-396,8	-376,2	-416,1	-348,2	-300,9	-368,5	-366,1	-386,2	0,00
28	-474,1	-435,2	-492,6	-491,6	-492,8	-486,4	-563,7	-464,5	-377,0	-439,0	-433,9	-457,6	0,00
29	-549,1	-504,1	-570,9	-572,9	-590,2	-598,3	-713,3	-582,5	-454,3	-510,5	-502,7	-530,0	0,00
30	-625,1	-573,9	-650,1	-655,2	-688,8	-711,6	-864,9	-702,0	-532,5	-583,0	-572,3	-603,4	0,00

Koko vuosi										
Jäähdytysraja [°C]	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C	29°C	30°C
Q <sub>jäähdytys,tilat,netto</sub> [kWh]	1157,2	706,2	279,4	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
η <sub>jäähdytystilat</sub> [-]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Q <sub>jäähdytys,tilat</sub> [kWh]	1285,8	784,7	310,5	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ε <sub>jäähdytys</sub> [kWh]	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Q <sub>jäähdytys,osto</sub> [kWh]	428,6	261,6	103,5	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus [kWh/(m^2 a)]	3,1	1,9	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



**Taulukko L3. 7. Käsinlaskennan kulkua ja tuloksia jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksista. Kaukolämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ). Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.**

[illegible]

**Taulukko L3. 8. Käsinlaskennan kulkua ja tuloksia jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksista. Sähköllä lämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ). Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.**

Q <sub>jäähdytys,tilat,netto</sub> [kWh]													
	Kuukausi												
Jäähdytysraja [°C]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Koko vuosi
21	0,2	1,0	13,1	96,8	325,2	453,8	656,4	478,0	260,0	28,8	1,4	0,4	2314,95
22	-55,6	-50,3	-45,1	36,4	252,8	370,6	545,2	390,3	202,6	-24,4	-49,7	-53,5	1797,86
23	-119,3	-108,8	-111,7	-32,7	170,0	275,6	418,0	290,0	136,9	-85,2	-108,2	-115,0	1290,48
24	-186,5	-170,5	-181,8	-105,5	82,8	175,4	283,9	184,4	67,7	-149,3	-169,8	-179,9	794,23
25	-256,0	-234,4	-254,3	-180,8	-7,4	71,8	145,3	75,1	-3,8	-215,6	-233,5	-247,0	292,08
26	-327,3	-299,8	-328,6	-258,0	-99,9	-34,5	3,0	-37,0	-77,2	-283,5	-298,8	-315,8	3,04
27	-400,1	-366,6	-404,5	-336,8	-194,4	-142,9	-142,1	-151,4	-152,1	-352,9	-365,5	-386,1	0,00
28	-474,0	-434,5	-481,7	-416,9	-290,4	-253,2	-289,6	-267,7	-228,3	-423,4	-433,3	-457,5	0,00
29	-549,1	-503,4	-560,0	-498,2	-387,8	-365,1	-439,3	-385,7	-305,5	-495,0	-502,1	-529,9	0,00
30	-625,0	-573,2	-639,2	-580,5	-486,4	-478,3	-590,9	-505,2	-383,7	-567,4	-571,8	-603,3	0,00

Koko vuosi										
Jäähdytysraja [°C]	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C	29°C	30°C
Q <sub>jäähdytys,tilat,netto</sub> [kWh]	2314,9	1797,9	1290,5	794,2	292,1	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0
η <sub>jäähdytys</sub> tilat [-]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Q <sub>jäähdytys,tilat</sub> [kWh]	2572,2	1997,6	1433,9	882,5	324,5	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0
ε <sub>jäähdytys</sub> [kWh]	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Q <sub>jäähdytys,osto</sub> [kWh]	857,4	665,9	478,0	294,2	108,2	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]	6,2	4,8	3,4	2,1	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

**Taulukko L3. 9. Käsinlaskennan kulkua ja tuloksia jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksista. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin B-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (140 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)). Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.**

Q <sub>jäähdytys,tilat,netto</sub> [kWh]													
Jäähdytysraja [°C]	Kuukausi												Koko vuosi
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
21	0,0	0,1	1,2	15,9	105,0	197,5	350,1	247,7	89,8	7,4	0,3	0,1	1015,22
22	-52,6	-48,2	-53,6	-40,3	38,4	121,6	249,4	167,7	36,5	-42,4	-48,0	-50,8	613,60
23	-112,9	-103,5	-116,2	-104,7	-37,7	34,8	134,1	76,2	-24,4	-99,4	-103,2	-109,1	245,11
24	-176,4	-161,8	-182,2	-172,4	-117,9	-56,7	12,8	-20,2	-88,6	-159,5	-161,4	-170,4	12,76
25	-242,1	-222,0	-250,5	-242,5	-200,8	-151,3	-112,8	-119,9	-155,0	-221,6	-221,7	-233,9	0,00
26	-309,4	-283,8	-320,5	-314,4	-285,9	-248,4	-241,6	-222,2	-223,1	-285,3	-283,4	-299,0	0,00
27	-378,2	-346,9	-391,9	-387,8	-372,7	-347,4	-373,0	-326,6	-292,6	-350,3	-346,4	-365,5	0,00
28	-448,0	-411,0	-464,5	-462,4	-460,9	-448,1	-506,6	-432,7	-363,3	-416,4	-410,5	-433,0	0,00
29	-518,9	-476,1	-538,2	-538,1	-550,5	-550,2	-642,2	-540,3	-435,0	-483,5	-475,5	-501,5	0,00
30	-590,7	-542,0	-612,8	-614,7	-641,1	-653,7	-779,4	-649,4	-507,6	-551,4	-541,4	-570,9	0,00

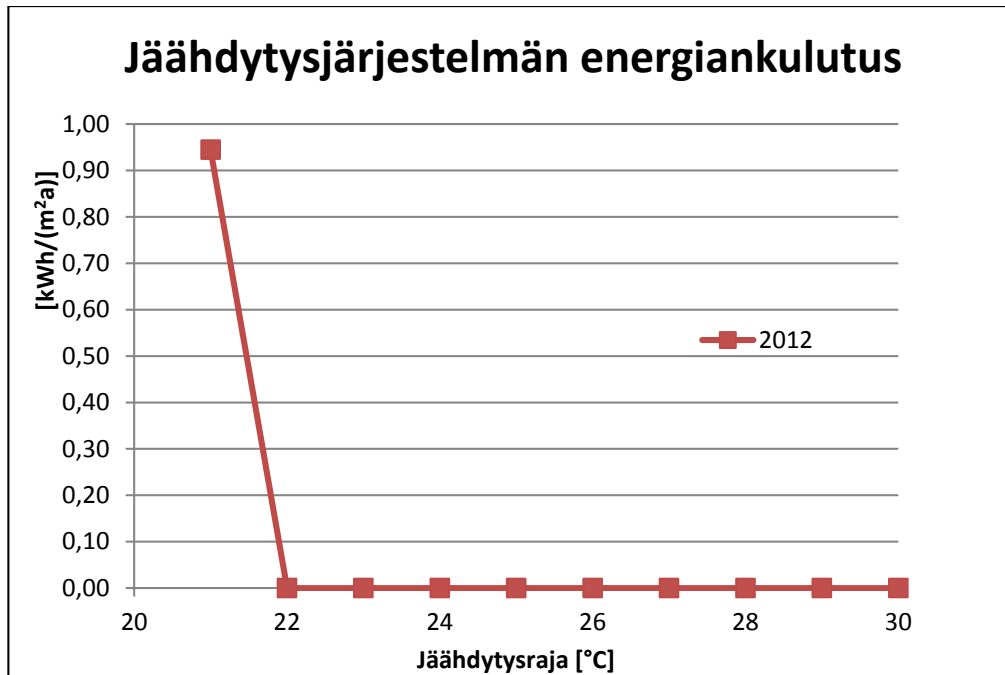
Koko vuosi										
Jäähdytysraja [°C]	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C	29°C	30°C
Q <sub>jäähdytys,tilat,netto</sub> [kWh]	1015,2	613,6	245,1	12,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
η <sub>jäähdytystilat</sub> [-]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Q <sub>jäähdytys,tilat</sub> [kWh]	1128,0	681,8	272,3	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ε <sub>jäähdytys</sub> [kWh]	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Q <sub>jäähdytys,osto</sub> [kWh]	376,0	227,3	90,8	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	2,7	1,6	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

**Taulukko L3. 10. Käsinlaskennan kulkua ja tuloksia jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksista. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin A-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (85 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)). Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.**

Q <sub>jäähdytys,tilat,netto</sub> [kWh]													
Jäähdytysraja [°C]	Kuukausi												Koko vuosi
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
21	0,0	0,3	14,5	126,3	356,7	452,4	610,0	441,2	269,1	21,4	0,3	0,1	2292,28
22	-35,7	-32,5	-22,7	86,5	306,8	395,2	533,7	380,9	229,4	-14,3	-31,8	-34,2	1932,45
23	-76,5	-70,1	-65,3	40,9	249,7	329,8	446,4	311,9	184,1	-55,1	-68,6	-73,3	1562,90
24	-119,5	-109,7	-110,1	-7,0	189,6	260,9	354,5	239,3	136,3	-98,1	-107,4	-114,5	1180,60
25	-164,0	-150,6	-156,5	-56,7	127,5	189,7	259,3	164,2	86,8	-142,6	-147,5	-157,1	827,45
26	-209,6	-192,6	-204,0	-107,6	63,7	116,6	161,8	87,1	36,1	-188,2	-188,6	-200,8	465,26
27	-256,1	-235,4	-252,5	-159,6	-1,4	42,0	62,3	8,5	-15,7	-234,7	-230,6	-245,5	112,75
28	-303,5	-279,0	-301,9	-212,4	-67,5	-33,8	-38,9	-71,5	-68,3	-282,1	-273,2	-290,8	0,00
29	-351,5	-323,2	-351,9	-266,0	-134,6	-110,7	-141,6	-152,6	-121,7	-330,1	-316,5	-336,8	0,00
30	-400,1	-367,9	-402,6	-320,2	-202,6	-188,6	-245,6	-234,8	-175,8	-378,7	-360,3	-383,5	0,00

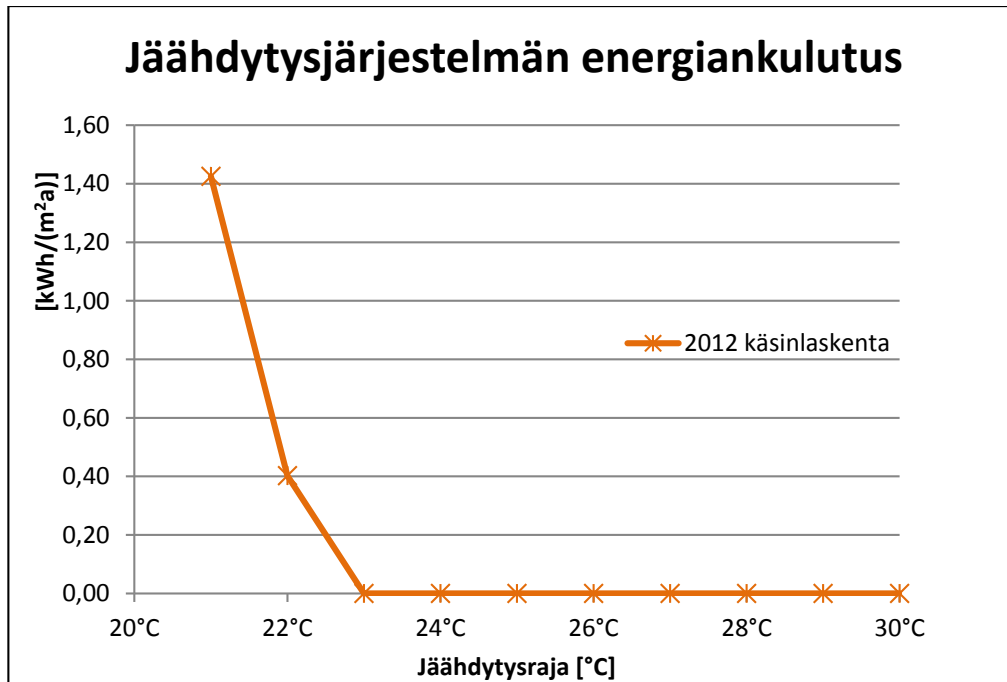
Koko vuosi										
Jäähdytysraja [°C]	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C	29°C	30°C
Q <sub>jäähdytys,tilat,netto</sub> [kWh]	2292,3	1932,5	1562,9	1180,6	827,4	465,3	112,8	0,0	0,0	0,0
η <sub>jäähdytystilat</sub> [-]	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Q <sub>jäähdytys,tilat</sub> [kWh]	2547,0	2147,2	1736,6	1311,8	919,4	517,0	125,3	0,0	0,0	0,0
ε <sub>jäähdytys</sub> [kWh]	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Q <sub>jäähdytys,osto</sub> [kWh]	849,0	715,7	578,9	437,3	306,5	172,3	41,8	0,0	0,0	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	6,1	5,2	4,2	3,2	2,2	1,2	0,3	0,0	0,0	0,0



*Kuva L3. 1. Käsinlaskennalla lasketut jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset. Kaukolämmitetty rakennus, Natalia Kajavan kandidaatintyön mukaiset asetukset. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

**Taulukko L3. 11. Käsinsäilytyksen kulkua ja tuloksia jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksista. Kaukolämmitys rakennus, Natalia Kajavan kandidaatintyön mukaiset asetukset. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.**

[illegible]



*Kuva L3. 2. Käsinsilppuun lasketut jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset. Sähköllä lämmitetty rakennus, Natalia Kajavan kandidaatintyön mukaiset asetukset. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

*Taulukko L3. 12. Käsinlaskennan kulkua ja tuloksia jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksista. Sähköllä lämmitetty rakennus, Natalia Kajavan kandidaatintyön mukaiset asetukset. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla sävyvyöhykkeille I ja II.*

[illegible]

## LIITE 4: IDA-ICE-LASKENNAN TULOKSIA KONEELLISEN JÄÄHDYTYKSEN ENERGIAANKULUTUKSEN OSALTA

**Taulukko L4. 1. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, perustapaus. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.**

Kaukolämmitetty talo

Perustapaus

Säätiedot: TRY2012 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	433,6	290,6	149,2	75,8	36,6	17,7	7,5	2,1	0,4	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,13	2,10	1,08	0,55	0,26	0,13	0,05	0,02	0,00	0,00

Säätiedot: TRY2030 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	501,7	347,0	194,3	107,6	54,7	27,3	12,6	4,6	0,8	0,2
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,62	2,50	1,40	0,78	0,39	0,20	0,09	0,03	0,01	0,00

Säätiedot: TRY2050 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	552,9	390,6	229,6	133,4	70,7	36,3	18,7	7,4	2,2	0,4
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,99	2,82	1,66	0,96	0,51	0,26	0,13	0,05	0,02	0,00

Säätiedot: TRY2100 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	567,1	414,8	265,5	167,8	97,4	49,0	20,6	6,5	0,9	0,1
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	4,09	2,99	1,92	1,21	0,70	0,35	0,15	0,05	0,01	0,00

**Taulukko L4. 2. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.**

Sähköllä lämmitetty talo

Perustapaus

Säätiedot: TRY2012 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	520,2	359,1	195,0	105,4	51,1	23,7	10,1	3,3	0,5	0,1
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,75	2,59	1,41	0,76	0,37	0,17	0,07	0,02	0,00	0,00

Säätiedot: TRY2030 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	584,1	415,5	241,2	139,9	73,2	35,7	16,4	6,3	1,5	0,3
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	4,21	3,00	1,74	1,01	0,53	0,26	0,12	0,05	0,01	0,00

Säätiedot: TRY2050 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	631,0	455,8	275,5	167,3	91,7	46,0	22,4	9,5	3,1	0,5
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	4,55	3,29	1,99	1,21	0,66	0,33	0,16	0,07	0,02	0,00

Säätiedot: TRY2100 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	625,0	463,3	298,4	193,0	117,0	60,9	27,1	9,2	1,6	0,2
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	4,51	3,34	2,15	1,39	0,84	0,44	0,20	0,07	0,01	0,00



**Taulukko L4. 3. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.**

Kaukolämmitetty talo  
Verhot sisältävä tapaus

Säätiedot: TRY2012 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	340,9	213,4	95,8	42,5	19,7	8,4	1,7	0,1	0,0	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	2,46	1,54	0,69	0,31	0,14	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00

Säätiedot: TRY2030 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	404,9	264,0	133,3	66,1	30,1	14,2	4,9	0,5	0,0	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	2,92	1,90	0,96	0,48	0,22	0,10	0,04	0,00	0,00	0,00

Säätiedot: TRY2050 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	456,8	305,0	165,0	86,2	40,8	19,9	9,0	2,0	0,1	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,30	2,20	1,19	0,62	0,29	0,14	0,06	0,01	0,00	0,00

Säätiedot: TRY2100 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	483,9	339,0	206,6	120,4	62,3	26,1	8,6	0,9	0,0	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,49	2,45	1,49	0,87	0,45	0,19	0,06	0,01	0,00	0,00

**Taulukko L4. 4. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.**

Sähköllä lämmitetty talo  
Verhot sisältävä tapaus

Säätiedot: TRY2012 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	423,1	275,9	130,1	59,8	24,9	10,5	3,0	0,2	0,0	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,05	1,99	0,94	0,43	0,18	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00

Säätiedot: TRY2030 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	481,7	326,7	170,2	86,5	38,5	17,0	6,5	1,0	0,0	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,48	2,36	1,23	0,62	0,28	0,12	0,05	0,01	0,00	0,00

Säätiedot: TRY2050 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	527,9	362,2	202,5	108,7	52,4	22,6	10,2	2,7	0,2	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,81	2,61	1,46	0,78	0,38	0,16	0,07	0,02	0,00	0,00

Säätiedot: TRY2100 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	536,5	381,9	230,7	139,2	73,6	32,9	10,8	1,7	0,0	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,87	2,76	1,66	1,00	0,53	0,24	0,08	0,01	0,00	0,00

**Taulukko L4. 5. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.**

Kaukolämmitetty talo

Rakennusta käännetty 180°

Säätiedot: TRY2012 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	446,4	308,5	170,6	93,7	50,7	25,9	11,8	5,3	2,4	0,8
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,22	2,23	1,23	0,68	0,37	0,19	0,09	0,04	0,02	0,01

Säätiedot: TRY2030 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	517,1	363,7	214,9	124,1	69,2	37,5	18,5	8,8	4,0	1,6
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,73	2,62	1,55	0,90	0,50	0,27	0,13	0,06	0,03	0,01

Säätiedot: TRY2050 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	567,7	406,8	250,0	149,0	84,9	47,5	25,1	11,7	5,5	2,4
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	4,10	2,94	1,80	1,08	0,61	0,34	0,18	0,08	0,04	0,02

Säätiedot: TRY2100 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	582,2	432,3	281,6	178,8	107,9	60,5	30,3	12,9	5,0	1,4
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	4,20	3,12	2,03	1,29	0,78	0,44	0,22	0,09	0,04	0,01

**Taulukko L4. 6. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.**

Sähköllä lämmitetty talo

Rakennusta käännetty 180°

Säätiedot: TRY2012 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	527,0	370,0	215,4	124,9	68,3	36,3	17,4	7,9	3,5	1,3
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,80	2,67	1,55	0,90	0,49	0,26	0,13	0,06	0,03	0,01

Säätiedot: TRY2030 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	593,0	425,9	261,1	157,6	90,1	49,6	25,2	11,7	5,5	4,1
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	4,28	3,07	1,88	1,14	0,65	0,36	0,18	0,08	0,04	0,03

Säätiedot: TRY2050 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	636,9	466,4	294,7	183,5	107,6	60,6	32,2	15,9	7,5	3,4
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	4,60	3,37	2,13	1,32	0,78	0,44	0,23	0,11	0,05	0,02

Säätiedot: TRY2100 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	632,6	471,6	312,9	205,0	127,5	73,7	38,2	17,7	7,6	2,4
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	4,56	3,40	2,26	1,48	0,92	0,53	0,28	0,13	0,05	0,02

**Taulukko L4. 7. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissaiteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ). Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.**

Kaukolämmitetty talo

Ikkunoiden kokonaissaiteilyn läpäisykerroin 0,61

Säätiedot: TRY2012 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	885,8	685,2	453,7	295,5	185,6	109,1	59,7	31,4	15,9	6,9
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	6,39	4,94	3,27	2,13	1,34	0,79	0,43	0,23	0,11	0,05

Säätiedot: TRY2030 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	969,9	760,4	520,6	352,7	231,7	144,8	83,1	45,0	23,4	11,2
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	7,00	5,49	3,76	2,54	1,67	1,04	0,60	0,32	0,17	0,08

Säätiedot: TRY2050 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	1026,7	812,1	570,6	393,8	264,6	168,9	102,4	56,4	30,0	15,6
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	7,41	5,86	4,12	2,84	1,91	1,22	0,74	0,41	0,22	0,11

Säätiedot: TRY2100 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	994,1	791,8	562,7	403,4	285,6	193,7	123,4	71,6	36,0	28,6
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	7,17	5,71	4,06	2,91	2,06	1,40	0,89	0,52	0,26	0,21

**Taulukko L4. 8. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissaiteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ). Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.**

Sähköllä lämmitetty talo

Ikkunoiden kokonaissaiteilyn läpäisykerroin 0,61

Säätiedot: TRY2012 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	1017,8	810,4	560,7	386,8	255,8	159,1	92,1	48,9	24,6	11,3
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	7,34	5,85	4,05	2,79	1,85	1,15	0,66	0,35	0,18	0,08

Säätiedot: TRY2030 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	1092,2	879,2	626,2	443,6	304,9	199,2	121,5	66,8	35,4	17,8
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	7,88	6,34	4,52	3,20	2,20	1,44	0,88	0,48	0,26	0,13

Säätiedot: TRY2050 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	1140,2	925,5	672,0	483,7	338,7	226,2	142,2	82,2	44,1	22,3
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	8,23	6,68	4,85	3,49	2,44	1,63	1,03	0,59	0,32	0,16

Säätiedot: TRY2100 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	1085,8	883,8	646,3	472,9	341,2	237,1	156,8	95,8	52,1	25,4
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	7,83	6,38	4,66	3,41	2,46	1,71	1,13	0,69	0,38	0,18



**Taulukko L4. 9. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin B-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (140 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)). Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.**

Sähköllä lämmitetty talo

B-energiatohokkuusluokan asetukset

Lämmitysraja °C	Säätiedot: TRY2012 Vantaa									
Jäähdytysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	474,2	333,2	175,8	93,1	45,3	21,1	9,1	3,1	0,5	0,1
	3,42	2,40	1,27	0,67	0,33	0,15	0,07	0,02	0,00	0,00

Lämmitysraja °C	Säätiedot: TRY2030 Vantaa									
Jäähdytysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	532,7	384,0	216,2	124,8	65,7	31,8	14,7	5,8	1,4	0,3
	3,84	2,77	1,56	0,90	0,47	0,23	0,11	0,04	0,01	0,00

Lämmitysraja °C	Säätiedot: TRY2050 Vantaa									
Jäähdytysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	575,3	420,4	249,1	149,0	81,8	41,6	20,3	9,1	2,7	0,6
	4,15	3,03	1,80	1,08	0,59	0,30	0,15	0,07	0,02	0,00

Lämmitysraja °C	Säätiedot: TRY2100 Vantaa									
Jäähdytysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	571,0	426,7	271,5	176,0	106,5	56,0	24,9	8,6	1,6	0,2
	4,12	3,08	1,96	1,27	0,77	0,40	0,18	0,06	0,01	0,00

**Taulukko L4. 10. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin A-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (85 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)). Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.**

Sähköllä lämmitetty talo

A-energiatohokkuusluokan asetukset

Lämmitysraja °C	Säätiedot: TRY2012 Vantaa									
Jäähdytysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	1004,9	820,8	587,3	423,4	295,5	196,5	122,1	71,1	37,5	19,6
	7,25	5,92	4,24	3,05	2,13	1,42	0,88	0,51	0,27	0,14

Lämmitysraja °C	Säätiedot: TRY2030 Vantaa									
Jäähdytysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	1063,7	876,5	642,0	474,4	338,5	233,1	150,6	91,5	50,5	27,5
	7,67	6,32	4,63	3,42	2,44	1,68	1,09	0,66	0,36	0,20

Lämmitysraja °C	Säätiedot: TRY2050 Vantaa									
Jäähdytysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	1097,7	907,5	674,5	505,5	367,1	257,1	170,6	106,0	61,5	33,3
	7,92	6,55	4,87	3,65	2,65	1,85	1,23	0,76	0,44	0,24

Lämmitysraja °C	Säätiedot: TRY2100 Vantaa									
Jäähdytysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	1028,4	851,8	636,3	481,6	356,6	255,3	176,6	114,9	68,4	37,3
	7,42	6,15	4,59	3,47	2,57	1,84	1,27	0,83	0,49	0,27

**Taulukko L4. 11. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, Natalia Kajavan kandidaatintyön mukaiset asetukset. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.**

Kaukolämmitetty talo

Natalia Kajavan kandidaatintyön asetukset

Säätiedot: TRY2012 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	328,2	206,3	94,6	42,0	19,0	8,4	1,9	0,1	0,0	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	2,37	1,49	0,68	0,30	0,14	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00

Säätiedot: TRY2030 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	393,1	257,9	131,3	65,0	29,6	13,8	4,7	0,5	0,0	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	2,84	1,86	0,95	0,47	0,21	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00

Säätiedot: TRY2050 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	443,9	299,3	164,2	86,8	40,8	19,6	8,6	2,3	0,1	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,20	2,16	1,18	0,63	0,29	0,14	0,06	0,02	0,00	0,00

Säätiedot: TRY2100 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	472,4	334,9	204,2	119,7	60,9	26,4	8,5	1,1	0,0	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,41	2,42	1,47	0,86	0,44	0,19	0,06	0,01	0,00	0,00

**Taulukko L4. 12. IDA-ICE:lla määritetyt koko vuoden jäähdytysjärjestelmän energiankulutukset TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, Natalia Kajavan kandidaatintyön mukaiset asetukset. Tarkastelut on tehty jäähdytysrajan arvoilla 21 - 30 °C.**

Sähköllä lämmitetty talo

Natalia Kajavan kandidaatintyön asetukset

Säätiedot: TRY2012 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	412,3	273,9	133,6	61,8	26,3	11,2	3,7	0,2	0,0	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	2,97	1,98	0,96	0,45	0,19	0,08	0,03	0,00	0,00	0,00

Säätiedot: TRY2030 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	474,4	326,3	173,5	90,4	39,8	18,3	7,2	1,4	0,1	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,42	2,35	1,25	0,65	0,29	0,13	0,05	0,01	0,00	0,00

Säätiedot: TRY2050 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	520,6	363,8	207,2	112,7	55,4	24,6	11,2	3,4	0,2	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,76	2,62	1,49	0,81	0,40	0,18	0,08	0,02	0,00	0,00

Säätiedot: TRY2100 Vantaa										
Lämmitysraja °C	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Jäähdytysraja °C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh]	531,7	384,8	236,2	143,4	77,3	35,6	12,8	2,3	0,1	0,0
Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus vuodessa [kWh/m <sup>2</sup> ]	3,84	2,78	1,70	1,03	0,56	0,26	0,09	0,02	0,00	0,00

## LIITE 5: KÄSINLASKENNAN TULOKSIA SISÄILMAN KUUKAUDEN KESKILÄMPÖTILAN OSALTA

*Taulukko L5. 1. Käsinelaskennalla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat. Kaukolämmitetty rakennus, perustapaus. Lämpötilat on laskettu ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Vuoden sisäilman keskilämpötila
T <sub>s.lask.keskim</sub> [°C]	21,00	21,00	21,02	21,17	22,12	23,43	24,98	24,19	22,02	21,09	21,01	21,00	22,01

*Taulukko L5. 2. Käsinelaskennalla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. Lämpötilat on laskettu ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Vuoden sisäilman keskilämpötila
T <sub>s.lask.keskim</sub> [°C]	21,00	21,01	21,05	21,53	23,49	24,97	26,28	25,79	23,81	21,36	21,02	21,01	22,71

*Taulukko L5. 3. Käsinelaskennalla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat. Kaukolämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Lämpötilat on laskettu ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Vuoden sisäilman keskilämpötila
T <sub>s.lask.keskim</sub> [°C]	21,00	21,00	21,02	21,17	21,28	21,84	22,89	22,54	21,31	21,09	21,01	21,00	21,43

*Taulukko L5. 4. Käsinelaskennalla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat. Sähköllä lämmitetty rakennus, verhot kesällä ikkunoissa. Lämpötilat on laskettu ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Vuoden sisäilman keskilämpötila
T <sub>s.lask.keskim</sub> [°C]	21,00	21,01	21,05	21,53	21,66	22,52	23,68	23,52	21,96	21,36	21,02	21,01	21,78

*Taulukko L5. 5. Käsinelaskennalla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat. Kaukolämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Lämpötilat on laskettu ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Vuoden sisäilman keskilämpötila
T <sub>s.lask.keskim</sub> [°C]	21,00	21,00	21,02	21,17	22,13	23,43	24,98	24,21	22,01	21,09	21,01	21,00	22,01

*Taulukko L5. 6. Käsinelaskennalla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat. Sähköllä lämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Lämpötilat on laskettu ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Vuoden sisäilman keskilämpötila
T <sub>s.lask.keskim</sub> [°C]	21,00	21,01	21,05	21,53	23,50	24,96	26,28	25,82	23,80	21,36	21,02	21,01	22,71

*Taulukko L5. 7. Käsinlaskennalla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat. Kaukolämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ). Lämpötilat on laskettu ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Vuoden sisäilman keskilämpötila
$T_{s,lask.keskim}$ [°C]	21,00	21,01	21,08	21,76	24,42	26,52	28,20	26,87	23,80	21,19	21,01	21,00	23,17

*Taulukko L5. 8. Käsinlaskennalla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat. Sähköllä lämmitetty rakennus, korotettu ikkunoiden kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g=0,61$ ). Lämpötilat on laskettu ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Vuoden sisäilman keskilämpötila
$T_{s,lask.keskim}$ [°C]	21,01	21,03	21,32	23,33	27,63	29,16	30,06	29,19	27,54	21,78	21,04	21,01	24,53

*Taulukko L5. 9. Käsinlaskennalla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin B-energiatoteutusluokan raja käsinlaskennassa ( $140 \text{ kWh}_E/(m^2a)$ ). Lämpötilat on laskettu ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Vuoden sisäilman keskilämpötila
$T_{s,lask.keskim}$ [°C]	21,00	21,00	21,03	21,41	23,31	24,86	26,29	25,61	23,42	21,21	21,01	21,00	22,61

*Taulukko L5. 10. Käsinlaskennalla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin A-energiatoteutusluokan raja käsinlaskennassa ( $85 \text{ kWh}_E/(m^2a)$ ). Lämpötilat on laskettu ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Vuoden sisäilman keskilämpötila
$T_{s,lask.keskim}$ [°C]	21,00	21,01	21,54	25,43	31,20	32,43	32,85	31,62	30,48	21,83	21,01	21,00	25,98

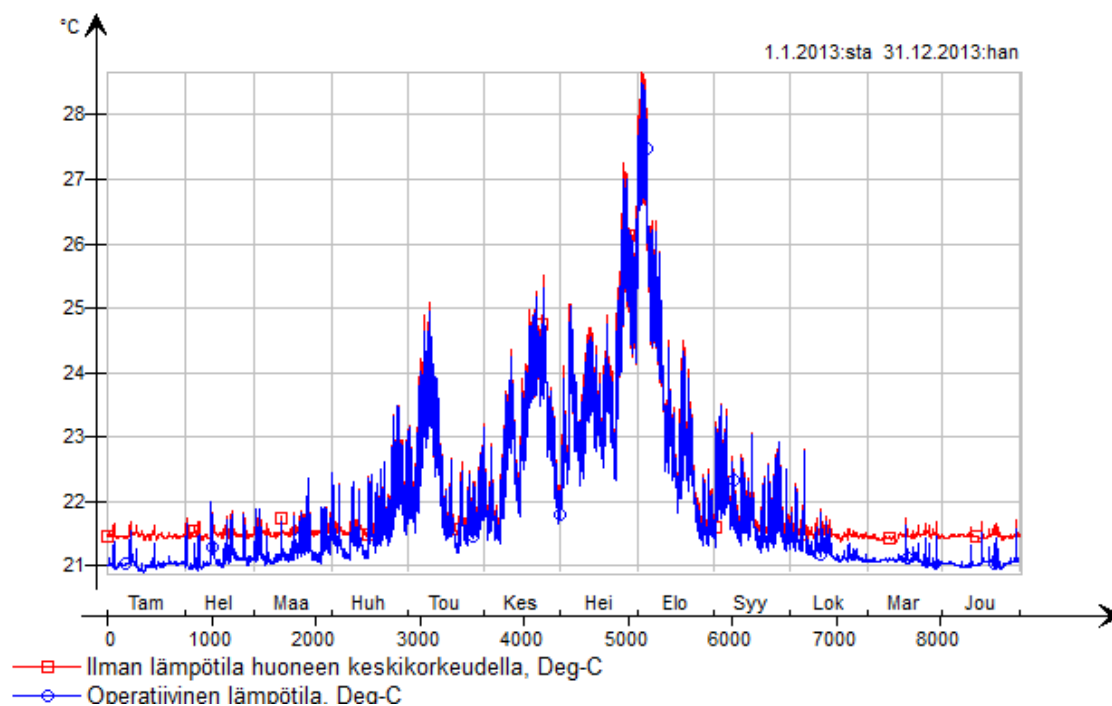
*Taulukko L5. 11. Käsinlaskennalla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat. Kaukolämmitetty rakennus, Natalia Kajavan kandidaatintyön mukaiset asetukset. Lämpötilat on laskettu ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Vuoden sisäilman keskilämpötila
$T_{s,lask.keskim}$ [°C]	21,00	21,00	21,02	21,16	21,27	21,82	22,87	22,51	21,29	21,08	21,01	21,00	21,42

*Taulukko L5. 12. Käsinlaskennalla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat. Sähköllä lämmitetty rakennus, Natalia Kajavan kandidaatintyön mukaiset asetukset. Lämpötilat on laskettu ilman jäähdytystä RakMK:n osan D3 (2012) mukaisilla säätiedoilla säävyöhykkeille I ja II.*

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Vuoden sisäilman keskilämpötila
$T_{s,lask.keskim}$ [°C]	21,00	21,01	21,05	21,49	21,64	22,52	23,75	23,55	21,89	21,32	21,02	21,01	21,78

## LIITE 6: IDA-ICE-LASKENNAN TULOKSIA SISÄILMAN LÄMPÖTILOJEN OSALTA



Kuva L6 1. IDA-ICE:lla määritetyt sisäilman lämpötilat TRY2012-säätiedostoa käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, perustapaus. Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.

Taulukko L6. 1. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, perustapaus. Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.

Kaukolämmitetty talo

Perustapaus

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2012 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,5	21,5	21,6	21,8	22,4	23,0	23,9	23,6	21,9	21,5	21,5	21,5	22,1
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,0	21,1	21,3	21,7	22,3	22,9	23,8	23,6	21,8	21,3	21,1	21,0	21,9

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2030 Vantaa

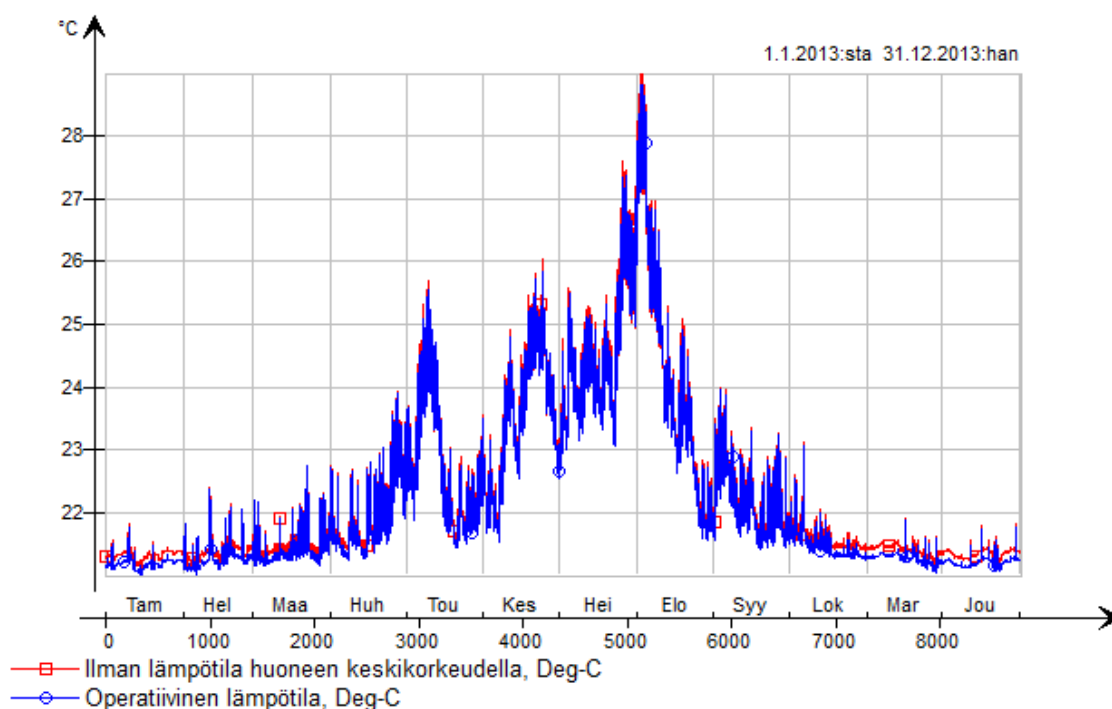
Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,5	21,5	21,6	21,9	22,5	23,3	24,4	24,0	22,0	21,5	21,5	21,5	22,3
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,0	21,1	21,3	21,7	22,4	23,2	24,3	23,9	21,9	21,3	21,1	21,1	22,0

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2050 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,5	21,5	21,6	21,9	22,6	23,5	24,7	24,3	22,1	21,5	21,5	21,5	22,4
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,1	21,1	21,3	21,7	22,6	23,5	24,6	24,2	22,0	21,3	21,1	21,1	22,1

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2100 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,5	21,5	21,5	21,7	22,8	24,3	24,7	24,0	22,2	21,5	21,5	21,4	22,4
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,0	21,1	21,2	21,5	22,7	24,2	24,6	23,9	22,1	21,3	21,1	21,1	22,2



Kuva L6. 2. IDA-ICE:lla määritetyt sisäilman lämpötilat TRY2012-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdtyksen vaikutusta.

Taulukko L6. 2. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdtyksen vaikutusta.

Sähköllä lämmitetty talo

Perustapaus

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2012 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,3	21,4	21,5	22,0	22,8	23,6	24,5	24,2	22,3	21,6	21,4	21,3	22,3
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,2	21,3	21,4	21,9	22,7	23,5	24,5	24,2	22,2	21,5	21,3	21,2	22,2

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2030 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,3	21,4	21,5	22,1	23,0	23,9	25,0	24,6	22,4	21,6	21,4	21,4	22,5
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,2	21,3	21,4	22,0	22,9	23,8	24,9	24,5	22,3	21,5	21,3	21,2	22,4

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2050 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,4	21,4	21,6	22,1	23,2	24,1	25,2	24,8	22,5	21,6	21,4	21,4	22,6
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,2	21,3	21,5	22,0	23,1	24,0	25,2	24,8	22,5	21,5	21,3	21,2	22,5

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2100 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,4	21,4	21,5	21,8	23,2	24,8	25,3	24,5	22,6	21,7	21,4	21,4	22,6
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,2	21,3	21,4	21,8	23,2	24,7	25,2	24,5	22,5	21,5	21,3	21,2	22,5



**Taulukko L6. 3. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, perustapaus. Makuuhuone 4. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.**

Kaukolämmitetty talo

Perustapaus

Makuuhuone 4		Säätiedot: TRY2012 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,4	21,5	21,6	21,9	22,6	23,1	24,2	24,0	22,1	21,5	21,4	21,4	22,2
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,0	21,1	21,3	21,8	22,6	23,1	24,2	24,0	22,0	21,2	21,0	21,0	22,0

Makuuhuone 4		Säätiedot: TRY2030 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,4	21,5	21,6	22,0	22,8	23,5	24,7	24,4	22,3	21,5	21,4	21,4	22,4
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,0	21,1	21,3	21,9	22,8	23,4	24,7	24,4	22,2	21,3	21,0	21,0	22,2

Makuuhuone 4		Säätiedot: TRY2050 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,4	21,5	21,6	22,0	22,9	23,7	25,1	24,7	22,4	21,5	21,4	21,4	22,5
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,0	21,1	21,3	21,9	22,9	23,7	25,0	24,7	22,3	21,3	21,0	21,0	22,3

Makuuhuone 4		Säätiedot: TRY2100 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,4	21,4	21,5	21,7	23,0	24,5	25,0	24,3	22,4	21,5	21,4		22,5
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,0	21,1	21,2	21,6	23,0	24,5	25,0	24,3	22,4	21,3	21,0		22,3

**Taulukko L6. 4. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. Makuuhuone 4. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.**

Sähköllä lämmitetty talo

Perustapaus

Makuuhuone 4		Säätiedot: TRY2012 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,3	21,3	21,5	22,2	23,1	23,8	24,9	24,7	22,5	21,6	21,4	21,3	22,5
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,1	21,3	21,5	22,2	23,1	23,8	24,9	24,7	22,5	21,5	21,2	21,2	22,4

Makuuhuone 4		Säätiedot: TRY2030 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,3	21,4	21,6	22,1	23,0	23,9	25,0	24,6	22,4	21,6	21,4	21,4	22,5
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,2	21,3	21,5	22,2	23,2	24,1	25,4	25,0	22,7	21,5	21,3	21,2	22,6

Makuuhuone 4		Säätiedot: TRY2050 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,3	21,4	21,6	22,3	23,5	24,3	25,7	25,3	22,9	21,6	21,4	21,3	22,7
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,2	21,3	21,5	22,2	23,5	24,3	25,7	25,3	22,9	21,5	21,3	21,2	22,7

Makuuhuone 4		Säätiedot: TRY2100 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,3	21,4	21,5	21,9	23,5	25,0	25,6	24,9	22,9	21,7	21,4	21,3	22,7
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,2	21,3	21,4	21,9	23,5	25,0	25,6	24,9	22,9	21,6	21,3	21,2	22,7

**Taulukko L6. 5. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, perustapaus. Makuuhuone 3. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.**

Kaukolämmitetty talo

Perustapaus

Makuuhuone 3

Säätiedot: TRY2012 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,4	21,4	21,4	21,5	21,8	22,5	23,2	22,8	21,5	21,4	21,4	21,4	21,8
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,0	21,0	21,1	21,3	21,6	22,4	23,2	22,7	21,3	21,1	21,0	21,0	21,6

Makuuhuone 3

Säätiedot: TRY2030 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,4	21,4	21,4	21,5	21,9	22,8	23,7	23,1	21,5	21,4	21,4	21,4	21,9
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,0	21,0	21,1	21,3	21,8	22,8	23,7	23,0	21,3	21,1	21,0	21,0	21,7

Makuuhuone 3

Säätiedot: TRY2050 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,4	21,4	21,4	21,5	22,0	23,1	24,1	23,4	21,5	21,4	21,4	21,4	22,0
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,0	21,0	21,1	21,3	21,9	23,0	24,0	23,3	21,3	21,1	21,0	21,0	21,8

Makuuhuone 3

Säätiedot: TRY2100 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,4	21,4	21,4	21,5	22,2	23,9	24,1	23,2	21,5	21,4	21,4	21,4	22,1
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,0	21,1	21,1	21,2	22,1	23,8	24,1	23,1	21,4	21,1	21,0	21,0	21,8

**Taulukko L6. 6. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, perustapaus. Makuuhuone 3. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.**

Sähköllä lämmitetty talo

Perustapaus

Makuuhuone 3

Säätiedot: TRY2012 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,2	21,2	21,3	21,5	22,0	23,0	23,9	23,3	21,6	21,5	21,3	21,3	21,9
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,1	21,1	21,2	21,4	21,9	23,0	23,8	23,2	21,5	21,3	21,2	21,1	21,8

Makuuhuone 3

Säätiedot: TRY2030 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,3	21,3	21,3	21,6	22,2	23,4	24,3	23,7	21,7	21,5	21,3	21,3	22,1
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,1	21,2	21,2	21,5	22,1	23,3	24,3	23,6	21,6	21,3	21,2	21,2	22,0

Makuuhuone 3

Säätiedot: TRY2050 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,3	21,3	21,4	21,6	22,3	23,6	24,6	24,0	21,7	21,5	21,4	21,3	22,2
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,2	21,2	21,2	21,5	22,2	23,5	24,6	23,9	21,6	21,4	21,2	21,2	22,1

Makuuhuone 3

Säätiedot: TRY2100 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,3	21,3	21,4	21,6	22,5	24,3	24,7	23,7	21,8	21,5	21,4	21,3	22,2
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,2	21,2	21,3	21,4	22,4	24,3	24,6	23,6	21,7	21,4	21,2	21,2	22,1



**Taulukko L6. 7. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.**

Kaukolämmitetty talo

Rakennusta käännetty 180°

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2012 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,5	21,5	21,5	21,7	22,1	22,8	23,7	23,4	21,7	21,5	21,5	21,5	22,0
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,0	21,1	21,2	21,4	22,0	22,7	23,6	23,3	21,5	21,2	21,1	21,0	21,8

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2030 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,5	21,5	21,5	21,7	22,3	23,1	24,1	23,7	21,8	21,5	21,5	21,5	22,1
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,0	21,1	21,2	21,5	22,1	23,1	24,0	23,6	21,6	21,2	21,1	21,0	21,9

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2050 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,5	21,5	21,5	21,7	22,4	23,4	24,5	24,0	21,8	21,5	21,5	21,5	22,2
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,0	21,1	21,2	21,5	22,2	23,3	24,4	23,9	21,7	21,2	21,1	21,1	22,0

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2100 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,5	21,5	21,5	21,6	22,5	24,1	24,5	23,7	21,9	21,5	21,4	21,4	22,3
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,0	21,1	21,2	21,4	22,4	24,0	24,4	23,6	21,7	21,2	21,1	21,0	22,0

**Taulukko L6. 8. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.**

Sähköllä lämmitetty talo

Rakennusta käännetty 180°

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2012 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,3	21,4	21,5	22,0	22,8	23,6	24,5	24,2	22,3	21,6	21,4	21,3	22,3
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,2	21,3	21,4	21,9	22,7	23,5	24,5	24,2	22,2	21,5	21,3	21,2	22,2

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2030 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,3	21,4	21,5	22,1	23,0	23,9	25,0	24,6	22,4	21,6	21,4	21,4	22,5
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,2	21,3	21,4	22,0	22,9	23,8	24,9	24,5	22,3	21,5	21,3	21,2	22,4

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2050 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,4	21,4	21,6	22,1	23,2	24,1	25,2	24,8	22,5	21,6	21,4	21,4	22,6
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,2	21,3	21,5	22,0	23,1	24,0	25,2	24,8	22,5	21,5	21,3	21,2	22,5

Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone Säätiedot: TRY2100 Vantaa

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]	21,4	21,4	21,5	21,8	23,2	24,8	25,3	24,5	22,6	21,7	21,4	21,4	22,6
Operatiivinen lämpötila [°C]	21,2	21,3	21,4	21,8	23,2	24,7	25,2	24,5	22,5	21,5	21,3	21,2	22,5

**Taulukko L6. 9. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Kaukolämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Makuuhuone 3. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.**

Kaukolämmitetty talo

Rakennusta käännetty 180°

Makuuhuone 3		Säätiedot: TRY2012 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,4	21,5	21,6	22,0	22,7	23,3	24,5	24,2	22,2	21,5	21,4	21,4	22,3
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,0	21,1	21,3	21,9	22,7	23,3	24,5	24,2	22,2	21,3	21,0	21,0	22,1

Makuuhuone 3		Säätiedot: TRY2030 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,4	21,5	21,6	22,0	23,0	23,7	25,0	24,6	22,4	21,5	21,4	21,4	22,5
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,0	21,1	21,3	21,9	22,9	23,7	25,0	24,6	22,4	21,3	21,0	21,0	22,3

Makuuhuone 3		Säätiedot: TRY2050 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,4	21,5	21,6	22,1	23,1	23,9	25,3	24,9	22,5	21,5	21,4	21,4	22,6
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,0	21,1	21,3	22,0	23,1	23,9	25,3	24,9	22,5	21,3	21,1	21,0	22,4

Makuuhuone 3		Säätiedot: TRY2100 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,4	21,4	21,5	21,8	23,1	24,7	25,3	24,5	22,6	21,5	21,4	21,4	22,6
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,0	21,1	21,2	21,6	23,1	24,7	25,2	24,5	22,6	21,3	21,0	21,0	22,4

**Taulukko L6. 10. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2012-, TRY2030-, TRY2050- ja TRY2100-säätiedostoja käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, 180° käännetty rakennusta. Makuuhuone 3. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.**

Sähköllä lämmitetty talo

Rakennusta käännetty 180°

Makuuhuone 3		Säätiedot: TRY2012 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,3	21,4	21,5	22,3	23,3	24,0	25,2	25,0	22,7	21,6	21,4	21,3	22,6
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,1	21,3	21,5	22,3	23,3	24,0	25,2	25,0	22,7	21,5	21,2	21,2	22,5

Makuuhuone 3		Säätiedot: TRY2030 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,3	21,4	21,6	22,3	23,6	24,4	25,7	25,3	23,0	21,6	21,4	21,3	22,8
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,2	21,3	21,5	22,3	23,6	24,4	25,7	25,3	23,0	21,5	21,3	21,2	22,7

Makuuhuone 3		Säätiedot: TRY2050 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,3	21,4	21,6	22,4	23,8	24,6	26,0	25,6	23,1	21,7	21,4	21,3	22,9
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,2	21,3	21,5	22,4	23,8	24,6	26,0	25,6	23,1	21,6	21,3	21,2	22,8

Makuuhuone 3		Säätiedot: TRY2100 Vantaa												
Kuukausi		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella [°C]		21,3	21,4	21,5	22,0	23,7	25,3	25,9	25,2	23,2	21,7	21,4	21,3	22,8
Operatiivinen lämpötila [°C]		21,2	21,3	21,4	21,9	23,7	25,2	25,9	25,2	23,1	21,6	21,3	21,2	22,8

*Taulukko L6. 11. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2012-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin B-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (140 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)). Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.*

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Tammikuu	21.3	21.2
Helmikuu	21.4	21.3
Maaliskuu	21.5	21.5
Huhtikuu	22.0	22.0
Toukokuu	22.7	22.7
Kesäkuu	23.4	23.4
Heinäkuu	24.3	24.3
Elokuu	24.0	24.0
Syyskuu	22.2	22.1
Lokakuu	21.6	21.5
Marraskuu	21.4	21.3
Joulukuu	21.3	21.2
keskiarvo	22.3	22.2
keskiarvo*8760.0 h	195061.7	194564.5
min	21.3	21.2
maks	24.3	24.3

*Taulukko L6. 12. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2030-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin B-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (140 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)). Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.*

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Tammikuu	21.3	21.2
Helmikuu	21.4	21.3
Maaliskuu	21.5	21.5
Huhtikuu	22.0	22.0
Toukokuu	22.9	22.9
Kesäkuu	23.7	23.7
Heinäkuu	24.7	24.7
Elokuu	24.3	24.3
Syyskuu	22.3	22.3
Lokakuu	21.6	21.5
Marraskuu	21.4	21.3
Joulukuu	21.4	21.3
keskiarvo	22.4	22.3
keskiarvo*8760.0 h	196197.5	195691.9
min	21.3	21.2
maks	24.7	24.7

**Taulukko L6. 13. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2050-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin B-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (140 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)). Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.**

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Tammikuu	21.4	21.3
Helmikuu	21.4	21.3
Maaliskuu	21.6	21.5
Huhtikuu	22.1	22.0
Toukokuu	23.0	23.0
Kesäkuu	23.9	23.9
Heinäkuu	25.0	25.0
Elokuu	24.6	24.6
Syyskuu	22.4	22.4
Lokakuu	21.6	21.5
Marraskuu	21.4	21.3
Joulukuu	21.4	21.3
keskiarvo	22.5	22.4
keskiarvo*8760.0 h	197037.6	196517.5
min	21.4	21.3
maks	25.0	25.0

**Taulukko L6. 14. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2100-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin B-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (140 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)). Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.**

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Tammikuu	21.4	21.3
Helmikuu	21.4	21.3
Maaliskuu	21.5	21.4
Huhtikuu	21.8	21.8
Toukokuu	23.1	23.1
Kesäkuu	24.6	24.5
Heinäkuu	25.1	25.0
Elokuu	24.3	24.3
Syyskuu	22.5	22.4
Lokakuu	21.6	21.5
Marraskuu	21.4	21.3
Joulukuu	21.4	21.3
keskiarvo	22.5	22.4
keskiarvo*8760.0 h	197239.7	196626.2
min	21.4	21.3
maks	25.1	25.0

*Taulukko L6. 15. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2012-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin A-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (85 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)). Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.*

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Tammikuu	21.4	21.3
Helmikuu	21.6	21.6
Maaliskuu	22.1	22.1
Huhtikuu	23.6	23.6
Toukokuu	25.3	25.3
Kesäkuu	26.0	26.1
Heinäkuu	27.0	27.1
Elokuu	26.4	26.5
Syyskuu	23.9	24.0
Lokakuu	21.9	21.8
Marraskuu	21.5	21.4
Joulukuu	21.4	21.4
keskiarvo	23.5	23.5
keskiarvo*8760.0 h	206095.5	206175.8
min	21.4	21.3
maks	27.0	27.1

*Taulukko L6. 16. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2030-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin A-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (85 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)). Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.*

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Tammikuu	21.4	21.3
Helmikuu	21.6	21.6
Maaliskuu	22.2	22.1
Huhtikuu	23.6	23.6
Toukokuu	25.5	25.6
Kesäkuu	26.3	26.4
Heinäkuu	27.4	27.5
Elokuu	26.7	26.8
Syyskuu	24.2	24.3
Lokakuu	22.0	21.9
Marraskuu	21.5	21.4
Joulukuu	21.5	21.4
keskiarvo	23.7	23.7
keskiarvo*8760.0 h	207412.2	207504.8
min	21.4	21.3
maks	27.4	27.5

*Taulukko L6. 17. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2050-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin A-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (85 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)). Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.*

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Tammikuu	21.4	21.4
Helmikuu	21.6	21.6
Maaliskuu	22.1	22.1
Huhtikuu	23.6	23.7
Toukokuu	25.7	25.8
Kesäkuu	26.5	26.6
Heinäkuu	27.6	27.7
Elokuu	27.0	27.1
Syyskuu	24.4	24.4
Lokakuu	22.0	22.0
Marraskuu	21.5	21.4
Joulukuu	21.5	21.4
keskiarvo	23.8	23.8
keskiarvo*8760.0 h	208232.0	208322.0
min	21.4	21.4
maks	27.6	27.7

*Taulukko L6. 18. IDA-ICE:lla määritetyt kuukausittaiset sisäilman keskilämpötilat TRY2100-säätiedostoa käyttäen. Sähköllä lämmitetty rakennus, asetukset joilla saavutettiin A-energiatohokkuusluokan raja käsinlaskennassa (85 kWh<sub>E</sub>/(m<sup>2</sup>a)). Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone. Lämpötilat on esitetty ilman jäähdytyksen vaikutusta.*

	Muuttujat	
	Ilman lämpötila huoneen keskikorkeudella, Deg-C	Operatiivinen lämpötila, Deg-C
Tammikuu	21.4	21.3
Helmikuu	21.6	21.6
Maaliskuu	21.8	21.8
Huhtikuu	22.9	22.9
Toukokuu	25.7	25.8
Kesäkuu	27.1	27.2
Heinäkuu	27.5	27.5
Elokuu	26.5	26.6
Syyskuu	24.2	24.3
Lokakuu	22.1	22.0
Marraskuu	21.5	21.4
Joulukuu	21.4	21.3
keskiarvo	23.7	23.7
keskiarvo*8760.0 h	207286.5	207259.8
min	21.4	21.3
maks	27.5	27.5

## LIITE 7: ESIMERKKITULOSTE IDA-ICE-LASKENNASTA

Tässä esimerkkilaskentatapauksessa esitetään kaukolämmitetyn rakennuksen perustapauksen osittainen tulosliuska. Jäähdytysrajana on 24 °C ja käytetty säätiedosto on TRY2012 Vantaa. Simulointi on tehty vuoden mittaiselle jaksolle. Koko tulosliuskaa ei ole esitetty, koska se olisi ollut liian pitkä. Vain osa vyöhykkeiden, eli huoneiden, omista tuloksista on esitetty tässä. Samanlaiset tiedot on IDA-ICE:n kokonaisessa tulosliuskassa esitetty kaikille vyöhykkeille eli huoneille erikseen.

### IDA Indoor Climate and Energy vers. 4.6

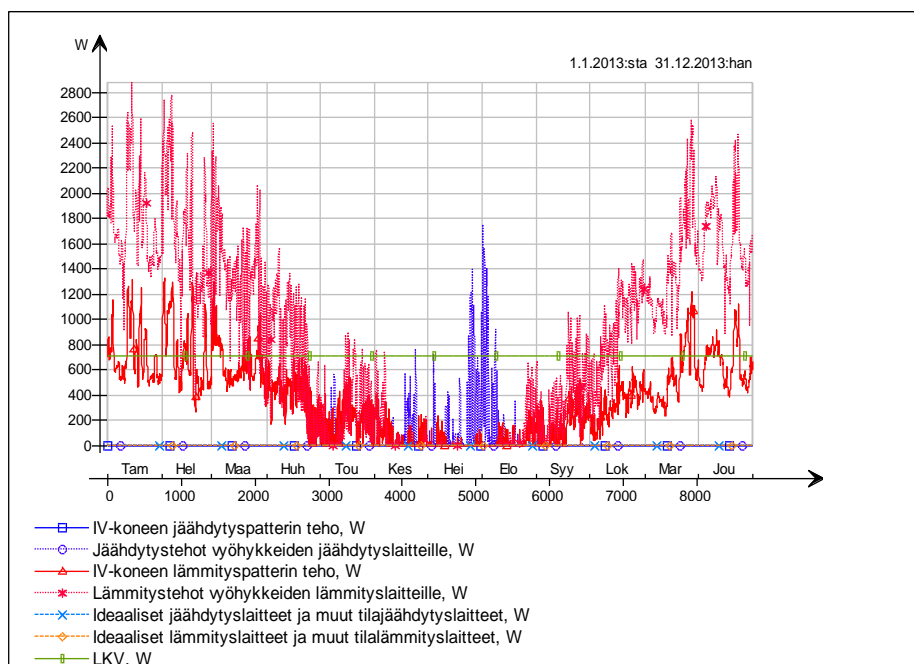
License: IDA40:ED138/T7L7C (Opetuslisenssi)  
 Simulated by Rantanen Olli  
 Date 27.2.2014 18:31:44 [242]



Project name	1.1.1.3 Jäähdytys 24
Customer	
Description	
Location	Helsinki
Climate	Säätiedosto Vantaa2012
Simulation type	Vuoden energiankulutuksen simulointi
Simulation period	1.1.2013 - 31.12.2013

### Laskentatulokset

#### Primäärijärjestelmän lämmitys-/jäähdytystehot



## Energiaraportti

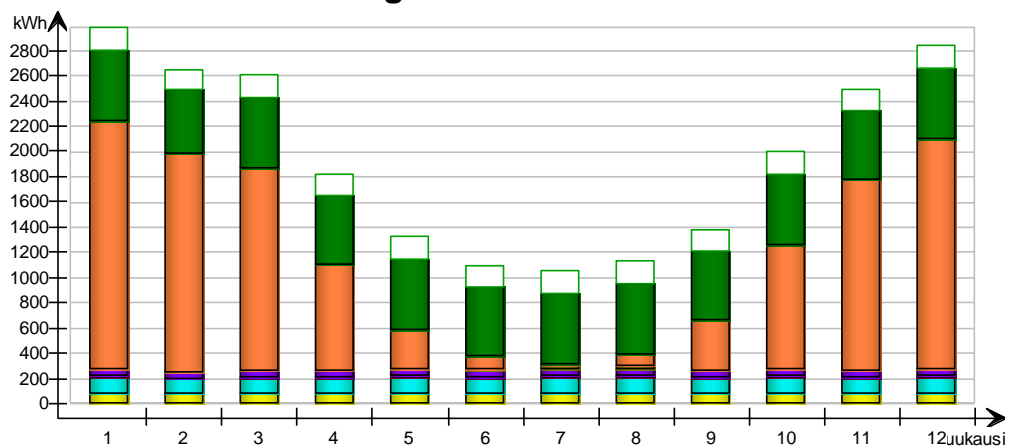
### Rakennuksen viihtyisyysindeksi

Niiden tuntien osuus, kun operatiivinen lämpötila on yli 24 °C lämpimimmässä vyöhykkeessä	6 %
Niiden tuntien osuus, kun operatiivinen lämpötila on yli 24 °C keskimääräisessä vyöhykkeessä	2 %
Niiden tuntien osuus, jolloin vallitsee tyytymättömyys lämpöoloihin	7 %

### Ostoenergiankulutusraportti

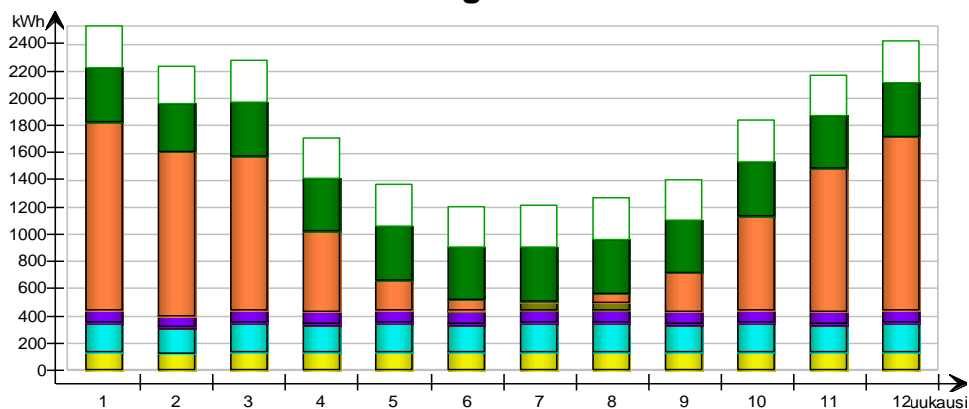
	Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Lighting, facility	937	6.8	0.11	1594	11.5
HVAC aux	1452	10.5	0.17	2469	17.8
Sähkölämmitys	83	0.6	0.01	141	1.0
Vesi, sähkö	622	4.5	0.07	1057	7.6
Jäähdytys sähkö	76	0.5	0.58	129	0.9
Yhteensä, Kiinteistösähkö	3170	22.9		5390	38.9
Kaukolämmitys	11414	82.4	4.46	7990	57.6
Vesi, kaukolämpö	6626	47.8	0.76	4638	33.5
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	18040	130.2		12628	91.1
Yhteensä	21210	153.0		18018	130.0
Equipment, tenant	2110	15.2	0.24	3587	25.9
Yhteensä, Aukkaan sähkö	2110	15.2		3587	25.9
Yhteensä	23320	168.3		21605	155.9

### Kuukausittainen ostoenergiankulutus





## Kuukausittainen kokonaisenergia



Kuu- kausi	Kiinteistösähkö										Kiinteistökau- kolämpö	
	Lighting, facility		HVAC aux		Sähköläm- mitys		Vesi, sähkö		Jäähdytys sähkö		Kaukolämmi- tys	
	(kWh)	Koko- nais- ener- gia (kWh)	(kWh)	Koko- nais- ener- gia (kWh)	(kWh)	Koko- nais- ener- gia (kWh)	(kWh)	Koko- nais- ener- gia (kWh)	(kWh)	Koko- nais- ener- gia (kWh)	(kWh)	Koko- nais- ener- gia (kWh)
1	79.6	135.4	123.3	209.6	7.1	12.0	52.8	89.8	0.0	0.0	1977.0	1383.9
2	71.9	122.3	111.2	189.0	6.4	10.8	47.7	81.1	0.0	0.0	1734.0	1213.8
3	79.6	135.4	123.1	209.3	7.1	12.0	52.8	89.8	0.0	0.0	1611.0	1127.7
4	77.0	131.0	119.2	202.6	6.8	11.6	51.1	86.9	0.2	0.3	845.8	592.1
5	79.6	135.4	123.3	209.6	7.1	12.0	52.8	89.8	3.2	5.4	314.8	220.4
6	77.0	131.0	119.4	203.0	6.8	11.6	51.1	86.9	8.9	15.1	103.9	72.7
7	79.6	135.4	123.5	209.9	7.1	12.0	52.8	89.8	31.4	53.4	11.5	8.0
8	79.6	135.4	123.6	210.1	7.1	12.0	52.8	89.8	31.9	54.2	90.8	63.6
9	77.0	131.0	119.5	203.2	6.8	11.6	51.1	86.9	0.2	0.3	404.0	282.8
10	79.6	135.4	123.6	210.1	7.1	12.0	52.8	89.8	0.0	0.0	985.4	689.8
11	77.0	131.0	119.5	203.2	6.8	11.6	51.1	86.9	0.0	0.0	1512.0	1058.4
12	79.6	135.4	123.3	209.6	7.1	12.0	52.8	89.8	0.0	0.0	1824.0	1276.8
Yh- teensä	937.5	1593.7	1452.5	2469.3	83.2	141.4	621.9	1057.3	75.8	128.8	11414.2	7989.9

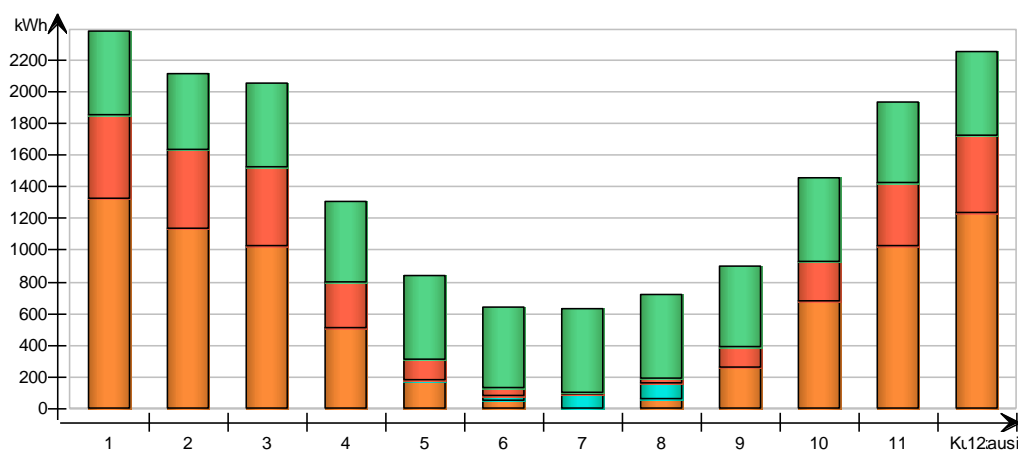
Kuukausi	Kiinteistökaukolämpö		Asukkaan sähkö	
	Vesi, kaukolämpö		Equipment, tenant	
	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)
1	562.8	394.0	179.2	304.6
2	508.3	355.8	161.8	275.1
3	562.8	394.0	179.2	304.6
4	544.6	381.2	173.4	294.8
5	562.8	394.0	179.2	304.6
6	544.6	381.2	173.4	294.8
7	562.8	394.0	179.2	304.6
8	562.8	394.0	179.2	304.6
9	544.6	381.2	173.4	294.8
10	562.8	394.0	179.2	304.6
11	544.6	381.2	173.4	294.8
12	562.8	394.0	179.2	304.6
Yhteensä	6626.3	4638.4	2109.8	3586.7

## Järjestelmien energia

### Energiankulutus

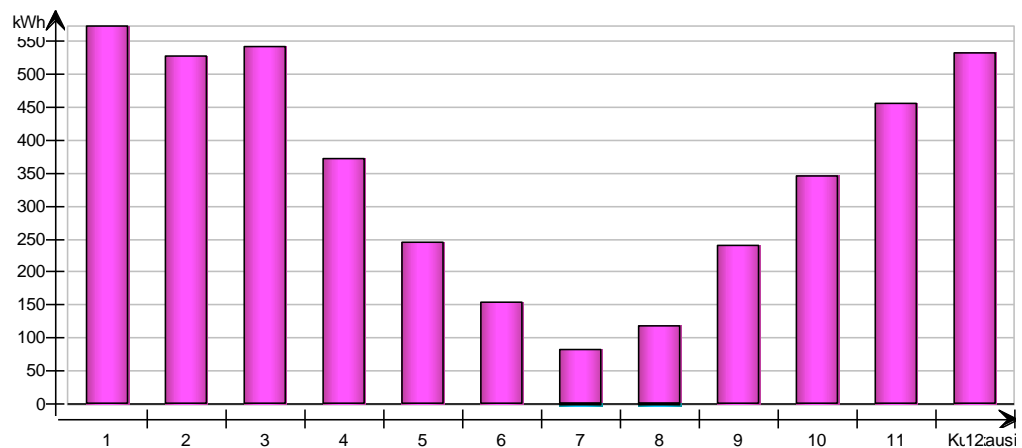
kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Tilalämmitys	Tilajäähdytys	Lämmitys IV-koneella	Jäähdytys IV-koneella	Lämmin käyttövesi
1	1327.0	0.0	531.2	0.0	529.0
2	1137.0	0.0	493.0	0.0	477.8
3	1022.0	0.0	492.6	0.0	529.0
4	509.7	0.5	285.4	0.0	511.9
5	168.5	9.6	127.5	0.0	529.0
6	50.7	26.7	47.0	0.0	511.9
7	1.4	94.2	9.4	0.0	529.0
8	55.9	95.7	29.6	0.0	529.0
9	254.3	0.6	125.5	0.0	511.9
10	677.6	0.0	248.7	0.0	529.0
11	1026.0	0.0	395.1	0.0	511.9
12	1232.0	0.0	483.1	0.0	529.0
Yhteensä	7462.0	227.3	3268.1	0.0	6228.4



## Talteenotettu ja omavaraisenergia kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuu- kausi	LTO	Ilman- vaihdossa jäähdy- tyksen talteenot- to	Läm- möntal- teenot- to, pri- määri- järjes- telmä	Jäähdy- tyksen talteen- otto, primää- rijärjes- telmä	Aurin- kolämpö	Maa- lämpö	Maa- jääh- dytys	UI- koilma lämpö	UI- koilma jääh- dytys
1	571.5	0.0							
2	527.1	0.0							
3	540.7	0.0							
4	370.6	-0.0							
5	244.6	-0.0							
6	153.6	-0.0							
7	82.5	-0.9							
8	117.2	-2.1							
9	238.5	-0.0							
10	343.5	0.0							
11	455.0	0.0							
12	530.6	0.0							
Yhteen- sä	4175.3	-3.1							



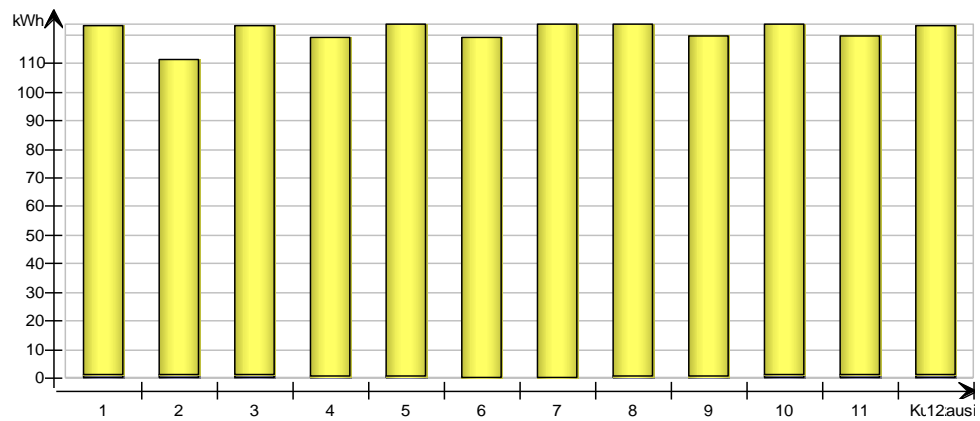
## Tuotettu sähköenergia kWh

Kuukausi	Aurinkosähkö (PV)	Tuuliturbiini	Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto (CHP)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
Yhteensä			

## Apulaitteiden energia

kWh

Kuukausi	Kostutus	Puhaltimet	Pumput
1		122.0	1.2
2		110.2	1.1
3		122.1	1.0
4		118.6	0.7
5		122.9	0.4
6		119.2	0.2
7		123.4	0.2
8		123.3	0.3
9		118.9	0.5
10		122.6	0.9
11		118.3	1.1
12		122.1	1.2
<b>Yhteensä</b>		<b>1443.6</b>	<b>8.9</b>



## Jakeluhäviöt

kWh

Kuukausi	Lämpimän käyttöveden jakelu	Lämmitys	Jäähdytys*	Ilmanvaihtokanavisto*
1	172.3	132.7	0.0	0.0
2	155.7	113.7	0.0	0.0
3	172.3	102.2	0.0	0.0
4	166.8	51.0	0.0	0.0
5	172.3	16.9	0.9	0.0
6	166.8	5.1	2.7	0.0
7	172.3	0.1	9.4	0.0
8	172.3	5.6	9.6	0.0
9	166.8	25.4	0.1	0.0
10	172.3	67.8	0.0	0.0
11	166.8	102.6	0.0	0.0
12	172.3	123.2	0.0	0.0
<b>Yhteensä</b>	<b>2029.0</b>	<b>746.2</b>	<b>22.7</b>	<b>0.0</b>

\*Positiivinen häviö, kun johto on viileämpi kuin rakennus

## Sisäänsyöttötiedot

**Kiinteä vuotoilmamäärä**
**3.826 l/s**

Rakennuksen vaippa	Ala [m <sup>2</sup> ]	U [W/(K m <sup>2</sup> )]	U*A [W/K]	% kokon.
Seinät maanp. yläpuol.	98.14	0.17	16.68	17.13
Seinät maanp. alapuol.	0.00	0.00	0.00	0.00
Katto	133.77	0.09	12.05	12.37
Maavarainen lattia	133.77	0.25	33.44	34.34
Lattia ulkoilmaan	0.00	0.00	0.00	0.00
Ikkunat	15.99	1.00	15.99	16.42
Ulko-ovet	7.56	1.00	7.56	7.76
Kylmäsiilat			11.67	11.98
Yhteensä	389.23	0.25	97.39	100.00

Kylmäsiilat	Pinta-ala tai pituus	Keskim lämmönjohtuvuus	Kokonais [W/K]
Ulkoseinä - Välipohja	0.01 m	0.050 W/(K m)	0.000
Ulkoseinä - Sisäseinä	60.00 m	0.010 W/(K m)	0.600
Ulkoseinä - Ulkoseinä	10.00 m	0.040 W/(K m)	0.400
Ikkuna ympärysmitta	60.20 m	0.040 W/(K m)	2.408
Ulko-ovi ympärysmitta	24.00 m	0.040 W/(K m)	0.960
Katto - Ulkoseinä	48.67 m	0.050 W/(K m)	2.433
Alapohja - Ulkoseinä	48.68 m	0.100 W/(K m)	4.868
Parvekelaatta - Ulkoseinä	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Alapohja - Sisäseinä	99.15 m	0.000 W/(K m)	0.000
Katto- Sisäseinä	99.12 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkoseinä - Sisänurkka	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkovaippa	389.18 m <sup>2</sup>	0.000 W/(K m <sup>2</sup> )	0.000
Ylimääräiset häviöt	-	-	0.000
Summa	-	-	11.670

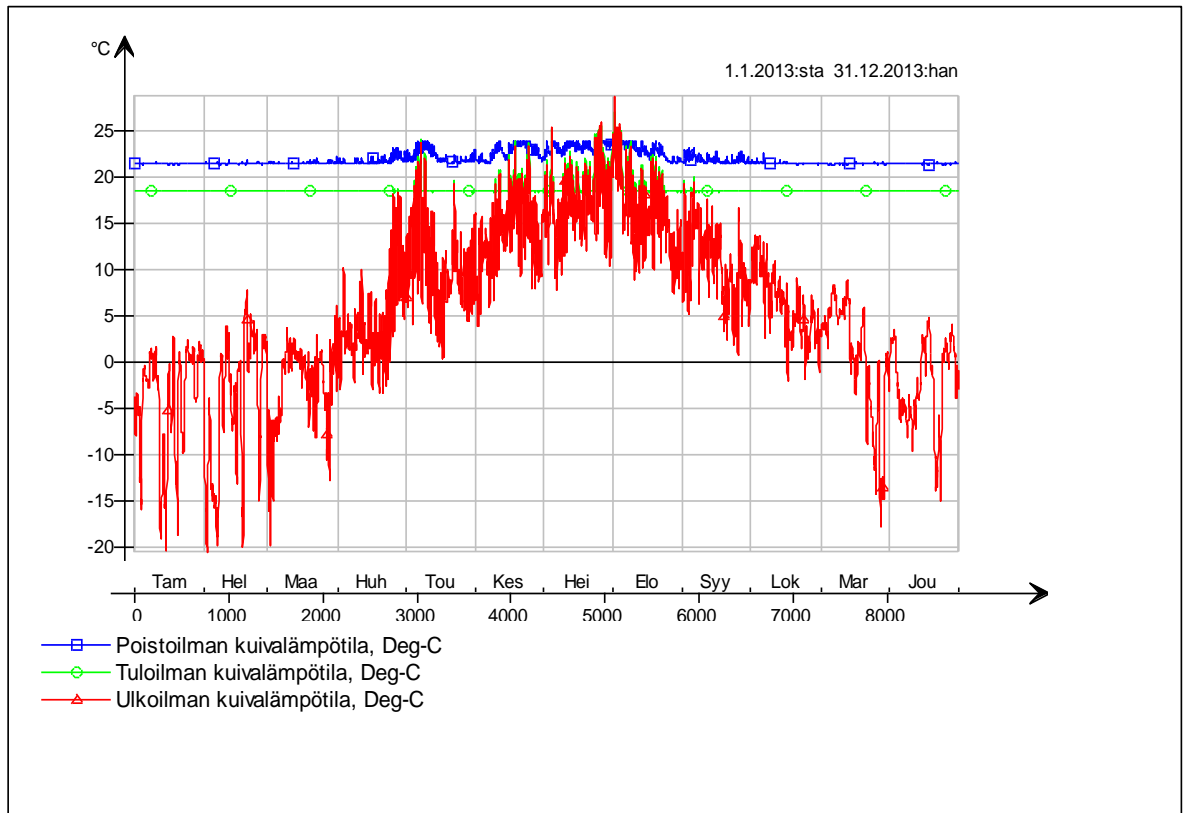
Ikkunat	Ala [m <sup>2</sup> ]	U lasi [W/(K m <sup>2</sup> )]	U karmi [W/(K m <sup>2</sup> )]	U ikkuna [W/(K m <sup>2</sup> )]	U*A [W/K]	g kokonaissäteilyn läpäisykerroin
N	7.44	1.00	1.00	1.00	7.44	0.32
E	0.25	1.00	1.00	1.00	0.25	0.32
S	7.45	1.00	1.00	1.00	7.45	0.32
W	0.85	1.00	1.00	1.00	0.85	0.32
Yhteensä	15.99	1.00	1.00	1.00	15.99	0.32

Ilmanvaihtokone	Paineenkorotus tulo/poisto [Pa/Pa]	Puhaltimen hyötysuhde tulo/poisto [-/-]	Järjestelmän SFP-luku [kW/(m <sup>3</sup> /s)]	Lämmöntalteenoton lämpötilasuhde / mini-jäteilman lämpötila [-/C]
AHU	1200.00/600.00	0.60/0.60	2.00/1.00	0.45/1.00

LKV	kWh/vuosi	Kokonais, [l/s]
	4200.000	0.002

## IV-kone

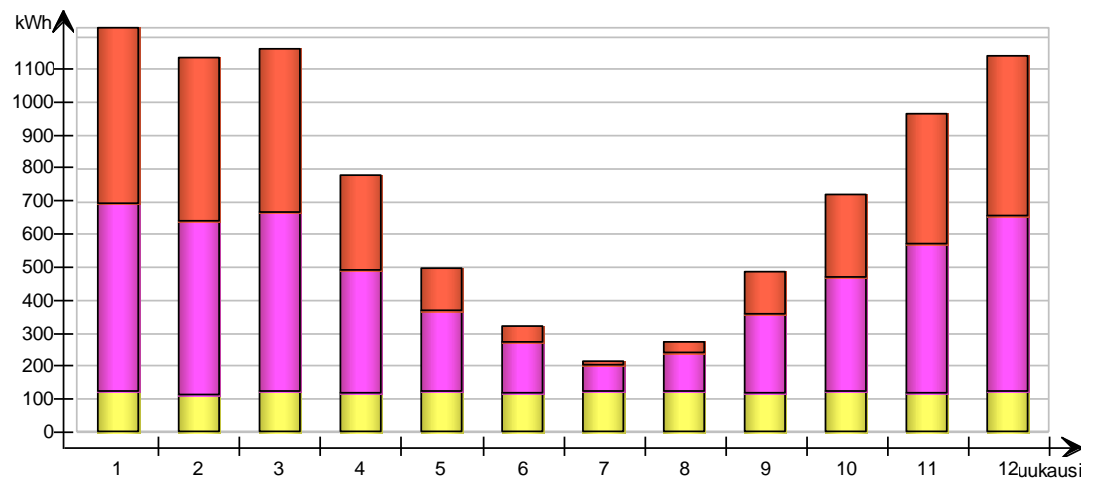
### IV-koneen lämpötilat



## Energia raportti vyöhykkeelle "IV-kone"

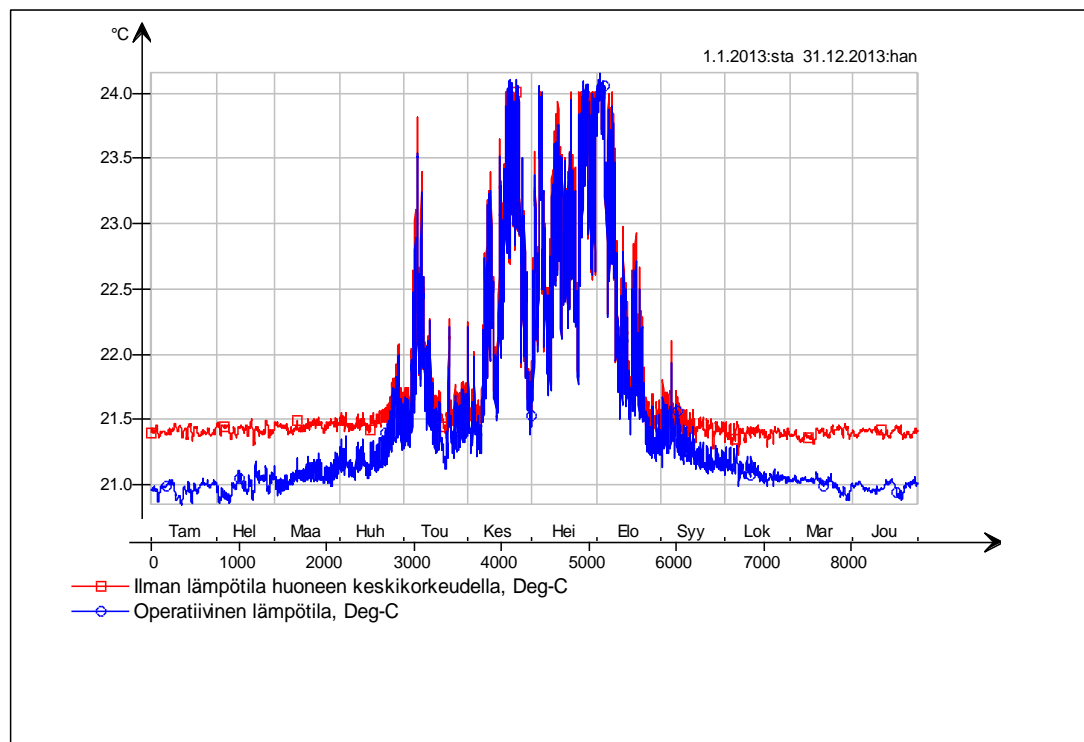
kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	531.2	0.0	571.5	0.0	0.0	122.0
2	493.0	0.0	527.1	0.0	0.0	110.2
3	492.6	0.0	540.7	0.0	0.0	122.1
4	285.4	0.0	370.6	0.0	0.0	118.6
5	127.5	0.0	244.6	0.0	0.0	122.9
6	47.0	0.0	153.6	0.0	0.0	119.2
7	9.4	0.0	82.5	0.9	0.0	123.4
8	29.6	0.0	117.2	2.1	0.0	123.3
9	125.5	0.0	238.5	0.0	0.0	118.9
10	248.7	0.0	343.5	0.0	0.0	122.6
11	395.1	0.0	455.0	0.0	0.0	118.3
12	483.1	0.0	530.6	0.0	0.0	122.1
<b>Yhteensä</b>	<b>3268.1</b>	<b>0.0</b>	<b>4175.3</b>	<b>3.1</b>	<b>0.0</b>	<b>1443.6</b>



## Makuuhuone 3

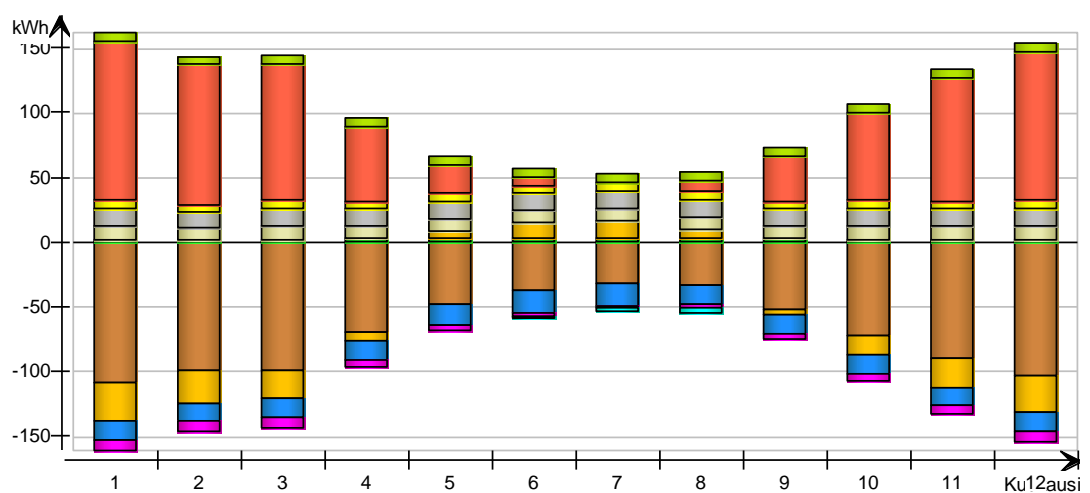
### Lämpötilat



## Vyöhykkeen "Makuuhuone 3" energia

kWh (Vain tuntuva)

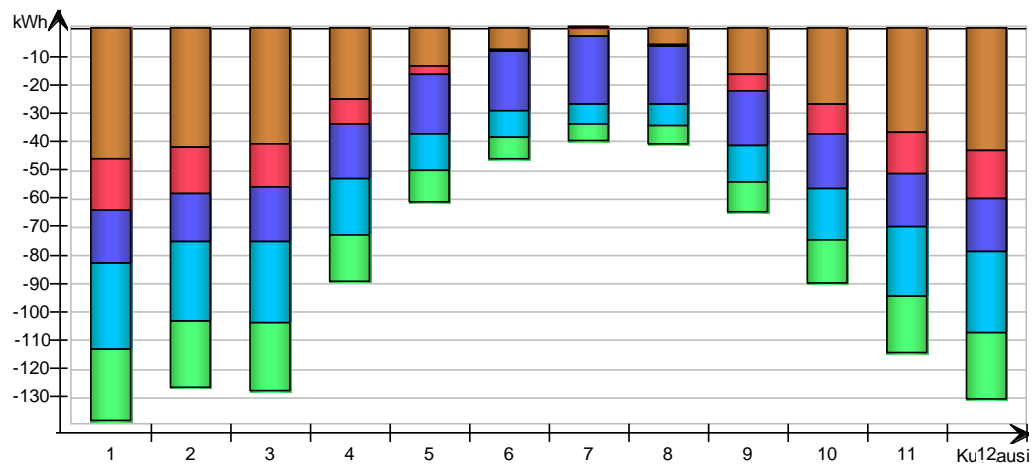
Kuu- kausi	Vaip- pa ja kyl- mäsil- lat	Sisä- seinät ja mas- sat	Ikkunat & aurin- gonsätei- ly	Kon- tu- loil- ma	Vuo- toil- ma & aukot	Ih- mi- set	Lait- teet	Va- lais- tus	Paikalli- set läm- mityslait- teet	Paikalliset jäähdy- tyslaitteet	Jakelu- häviöt
1	-109.0	1.5	-29.5	-14.5	-8.4	10.7	14.1	6.3	122.3	-0.0	6.8
2	-98.8	1.6	-25.1	-13.1	-7.7	9.6	12.7	5.7	109.2	-0.0	6.1
3	-99.9	1.9	-21.3	-14.7	-7.9	10.6	14.1	6.3	104.4	-0.0	6.8
4	-69.5	2.2	-7.3	-14.5	-5.5	10.0	13.6	6.1	58.4	-0.0	6.6
5	-48.2	3.1	4.9	-15.4	-3.7	10.1	14.1	6.3	22.2	-0.0	6.8
6	-37.5	3.0	12.5	-17.1	-2.6	9.5	13.6	6.1	6.8	-0.6	6.6
7	-32.3	2.9	14.1	-16.8	-1.9	9.6	14.1	6.3	0.2	-2.6	6.8
8	-33.9	3.2	6.5	-14.4	-2.1	9.9	14.1	6.3	8.1	-4.3	6.8
9	-51.7	2.4	-4.6	-14.3	-3.5	10.1	13.6	6.1	35.5	-0.0	6.6
10	-72.1	1.4	-14.9	-14.4	-5.0	10.6	14.1	6.3	67.4	-0.0	6.8
11	-90.2	1.3	-23.2	-13.9	-6.7	10.3	13.6	6.1	96.3	-0.0	6.6
12	-103.0	1.4	-27.7	-14.4	-7.8	10.6	14.1	6.3	113.9	-0.0	6.8
Yhteen- sä	-846.1	25.7	-115.6	-177.6	-62.9	121.6	165.9	73.7	744.8	-7.5	79.8
Lämmi- tyksen aikainen (6830.0 h)	-758.9	17.7	-154.3	-134.8	-57.8	96.6	129.4	57.5	744.2	0.0	62.2
Jäähdy- tyksen aikainen (588.1 h)	-28.4	0.2	18.1	-10.0	-0.9	7.3	11.1	4.9	0.0	-7.5	5.4
Muina aikoina	-58.8	7.8	20.6	-32.8	-4.2	17.7	25.4	11.3	0.6	0.0	12.2





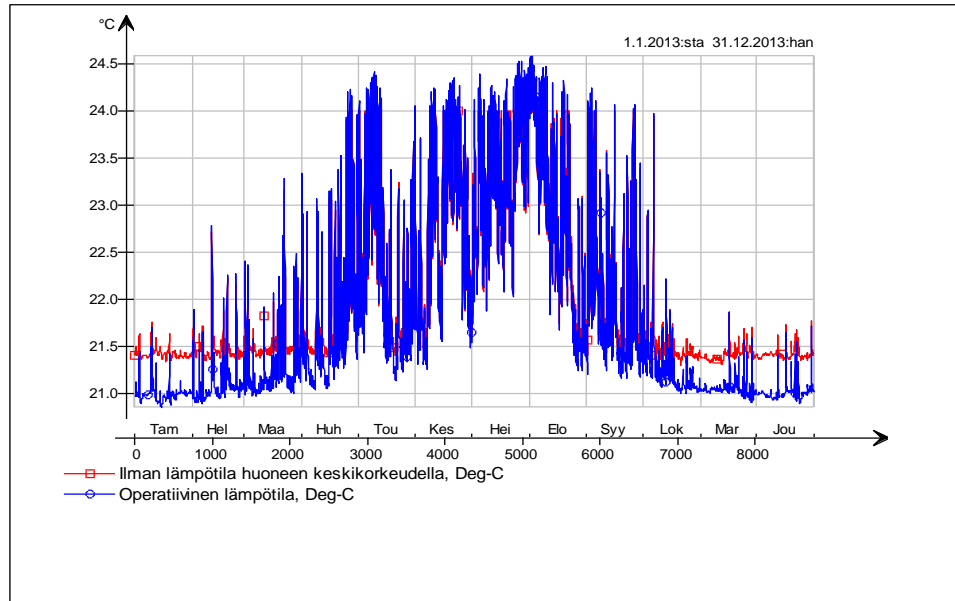
## Vaipan johtuminen kWh

Kuukausi	Seinät	Katto	Lattia	Ikkunat	Ovet	Kylmäsillat
1	-46.4	-18.4	-19.0	-30.5	0.0	-25.1
2	-42.0	-16.4	-17.3	-28.1	0.0	-23.2
3	-41.2	-15.5	-19.4	-28.7	0.0	-23.8
4	-25.3	-8.6	-19.4	-19.7	0.0	-16.3
5	-13.2	-3.2	-20.8	-13.2	0.0	-10.9
6	-7.6	-0.9	-21.2	-9.5	0.0	-7.9
7	-3.2	0.5	-24.0	-6.9	0.0	-5.6
8	-6.1	-0.8	-20.7	-7.8	0.0	-6.2
9	-16.4	-5.6	-19.2	-13.0	0.0	-10.5
10	-27.2	-10.6	-19.3	-18.5	0.0	-15.1
11	-37.0	-14.7	-18.5	-24.4	0.0	-20.0
12	-43.3	-17.2	-19.0	-28.4	0.0	-23.4
Yhteensä	-308.9	-111.5	-237.7	-228.7	0.0	-188.1
Lämmityksen aikainen	-300.6	-111.5	-174.2	-210.2	0.0	-172.9
Jäähdytyksen aikainen	1.7	-0.3	-27.2	-3.1	0.0	-2.6
Muina aikoina	-9.9	0.3	-36.3	-15.4	0.0	-12.6



## Makuuhuone 4

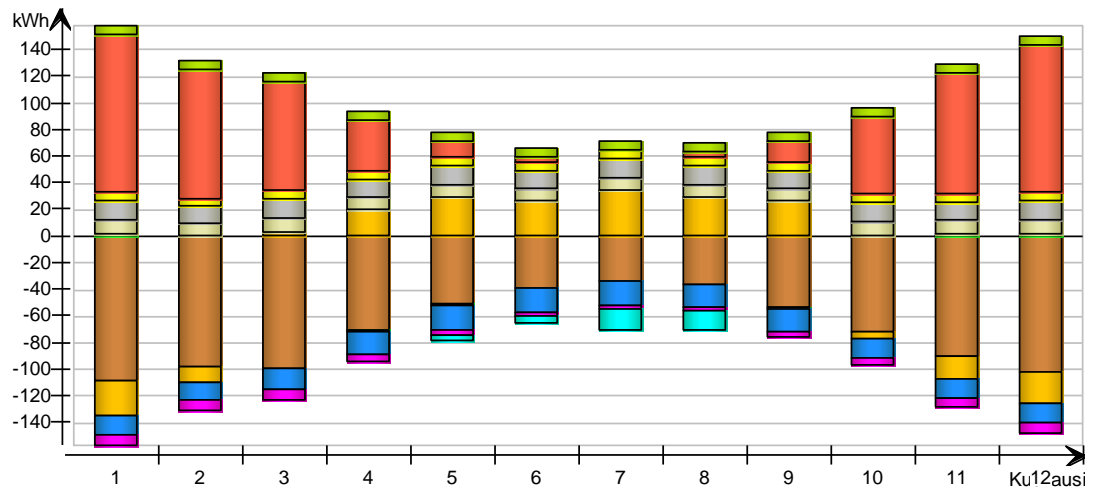
### Lämpötilat



### Vyöhykkeen "Makuuhuone 4" energia

kWh (Vain tuntuva)

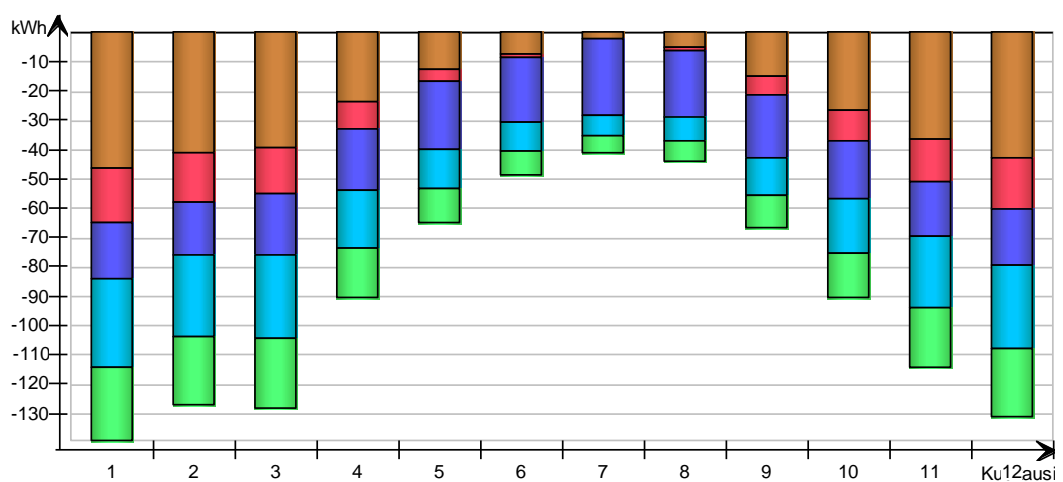
Kuu- kausi	Vai- pa ja kyl- mäsil- lat	Sisä- seinät ja mas- sat	Ikkunat & auri- ngonsätei- ly	Kon- tu- loil- ma	Vuo- toil- ma & aukot	Ih- mi- set	Lait- teet	Va- lais- tus	Paikalli- set läm- mityslait- teet	Paikalliset jäähdy- tyslaitteet	Jakelu- häviöt
1	-108.9	1.0	-25.6	-14.6	-8.4	10.7	14.1	6.3	118.8	-0.0	6.8
2	-98.4	0.7	-12.2	-13.4	-7.8	9.5	12.8	5.7	97.2	-0.0	6.1
3	-99.6	0.2	3.3	-15.3	-8.0	10.3	14.1	6.3	82.0	-0.0	6.8
4	-70.6	-0.9	20.4	-16.5	-5.6	9.7	13.7	6.1	37.9	-0.4	6.6
5	-51.1	-1.1	29.4	-18.5	-3.9	9.7	14.1	6.3	12.4	-3.8	6.8
6	-38.9	-0.1	26.0	-18.9	-2.8	9.2	13.7	6.1	4.1	-4.8	6.6
7	-34.5	-0.5	34.3	-18.5	-2.0	9.3	14.1	6.3	0.1	-15.1	6.8
8	-36.0	-0.5	29.5	-17.3	-2.3	9.5	14.1	6.3	4.0	-13.9	6.8
9	-54.0	-1.4	25.8	-17.3	-3.7	9.6	13.7	6.1	15.4	-0.5	6.6
10	-71.7	0.5	-4.7	-15.0	-5.1	10.5	14.1	6.3	58.4	-0.0	6.8
11	-90.0	0.9	-17.6	-14.0	-6.7	10.3	13.7	6.1	91.1	-0.0	6.6
12	-102.9	1.0	-23.6	-14.5	-7.8	10.6	14.1	6.3	110.2	-0.0	6.8
Yhteen- sä	-856.7	-0.0	84.9	-193.7	-64.1	118.9	166.2	73.9	631.5	-38.6	79.9
Lämmi- tyksen aikainen (5573.0 h)	-638.6	9.2	-117.4	-111.0	-51.5	78.7	105.7	47.0	628.3	0.0	50.8
Jäähdy- tyksen aikainen (1308.0 h)	-95.6	-8.3	116.5	-33.3	-3.3	15.7	24.8	11.0	0.0	-38.6	11.9
Muina aikoina	-122.5	-0.9	85.8	-49.4	-9.3	24.5	35.7	15.9	3.2	-0.0	17.2



## Vaipan johtuminen

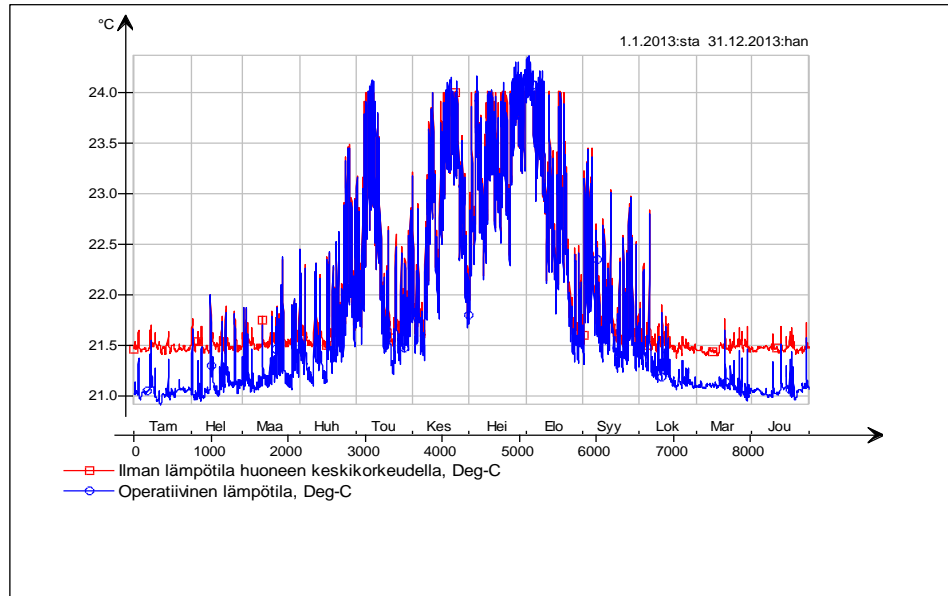
kWh

Kuukausi	Seinät	Katto	Lattia	Ikkunat	Ovet	Kylmäsillat
1	-46.1	-18.5	-19.1	-30.4	0.0	-25.2
2	-40.9	-16.5	-17.7	-27.8	0.0	-23.3
3	-39.2	-15.8	-20.7	-28.1	0.0	-24.0
4	-23.8	-9.0	-21.1	-19.5	0.0	-16.7
5	-12.5	-3.9	-23.2	-13.3	0.0	-11.5
6	-7.3	-1.2	-22.2	-9.5	0.0	-8.2
7	-2.5	0.1	-26.1	-6.8	0.0	-6.0
8	-5.4	-1.3	-22.5	-7.9	0.0	-6.8
9	-15.1	-6.3	-21.5	-12.9	0.0	-11.1
10	-26.5	-10.7	-19.4	-18.3	0.0	-15.2
11	-36.5	-14.8	-18.7	-24.3	0.0	-20.1
12	-43.0	-17.3	-19.2	-28.3	0.0	-23.4
Yhteensä	-298.9	-115.1	-251.3	-227.2	0.0	-191.4
Lämmityksen aikainen	-269.2	-99.3	-116.2	-186.2	0.0	-154.1
Jäähdytyksen aikainen	1.7	-7.3	-80.4	-9.4	0.0	-9.7
Muina aikoina	-31.4	-8.5	-54.7	-31.6	0.0	-27.6



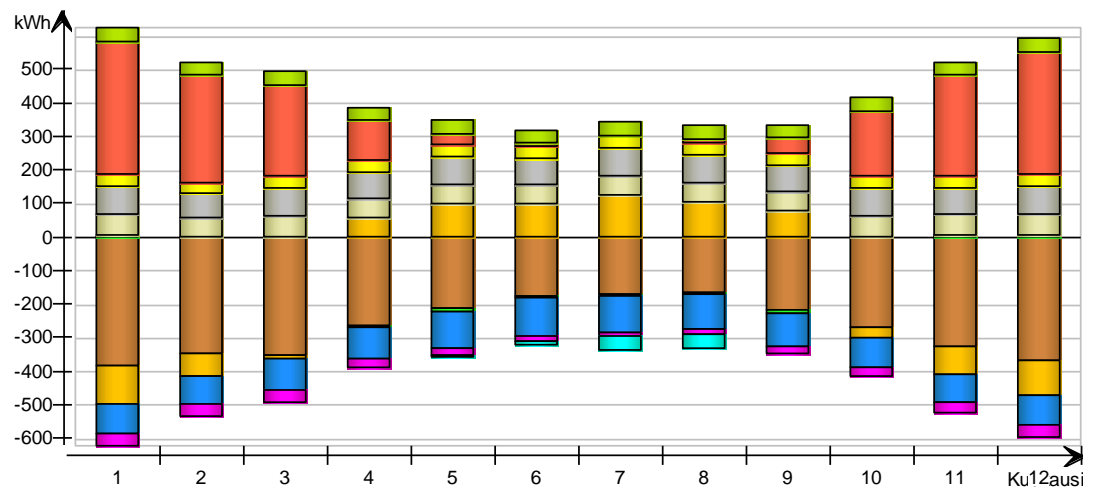
## Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone

### Lämpötilat



### Vyöhykkeen "Olohuone, keittiö, eteinen ja ruokailuhuone" energia kWh (Vain tuntuva)

Kuu- kausi	Vaipa- ja kyl- mäsil- lat	Sisä- seinät ja mas- sat	Ikkunat & au- rion- säteily	Kon- tu- loilma	Vuo- toil- ma & aukot	Ih- mi- set	Lait- teet	Va- lais- tus	Paikalli- set läm- mityslait- teet	Paikalliset jäähdy- tyslaitteet	Jakelu- häviöt
1	-385.3	5.1	-114.0	-87.7	-36.0	63.0	83.6	37.2	395.1	-0.0	40.2
2	-347.0	2.5	-65.5	-80.3	-33.5	56.4	75.5	33.6	323.0	-0.0	36.3
3	-355.2	-0.4	-10.7	-90.9	-35.0	61.5	83.6	37.2	270.8	-0.0	40.2
4	-265.6	-5.5	59.8	-95.2	-26.6	57.9	80.9	36.0	120.5	-0.0	38.9
5	-211.1	-8.9	101.3	-107.1	-21.9	58.0	83.6	37.2	33.9	-4.0	40.2
6	-174.9	-4.9	97.5	-112.4	-14.6	55.1	80.9	36.0	9.3	-9.9	38.9
7	-171.3	-6.5	126.5	-110.6	-11.4	55.3	83.6	37.2	0.1	-41.6	40.2
8	-166.3	-6.1	103.0	-100.9	-15.5	57.0	83.6	37.2	11.1	-42.4	40.2
9	-215.5	-8.0	80.2	-97.9	-20.6	57.9	80.9	36.0	49.1	-0.0	38.9
10	-272.1	1.0	-30.5	-89.6	-23.1	62.2	83.6	37.2	192.0	-0.0	40.2
11	-326.5	3.7	-81.3	-84.8	-29.1	60.8	80.9	36.0	302.4	-0.0	38.9
12	-367.3	4.8	-105.4	-87.7	-33.6	62.9	83.6	37.2	366.5	-0.0	40.2
Yhteen- sä	-3258.1	-23.2	161.0	-1145.0	-301.1	707.9	984.7	437.5	2073.7	-97.9	473.3
Lämmi- tyksen aikainen (5482.0 h)	-2317.5	28.2	-524.4	-657.5	-224.3	458.6	616.1	273.8	2057.5	0.0	296.1
Jäähdy- tyksen aikainen (1090.0 h)	-321.9	-25.8	302.5	-152.2	-16.8	78.9	122.5	54.4	0.0	-97.9	58.9
Muina aikoina	-618.7	-25.6	382.9	-335.3	-60.0	170.4	246.1	109.3	16.2	-0.0	118.3



## Vaipan johtuminen

kWh

Kuukausi	Seinät	Katto	Lattia	Ikkunat	Ovet	Kylmäsillat
1	-66.4	-110.0	-113.6	-130.7	-34.6	-60.6
2	-58.5	-98.1	-104.5	-119.6	-30.0	-56.0
3	-56.1	-93.4	-120.2	-121.4	-27.9	-57.6
4	-34.8	-52.9	-121.4	-83.6	-16.5	-40.0
5	-19.8	-22.2	-132.8	-56.9	-8.8	-27.5
6	-12.2	-7.1	-130.3	-41.1	-5.6	-19.8
7	-5.8	0.8	-150.0	-29.6	-1.9	-14.5
8	-9.1	-7.3	-130.4	-34.1	-3.3	-16.2
9	-21.1	-36.2	-122.7	-55.3	-9.2	-26.3
10	-37.8	-63.5	-115.3	-78.9	-19.1	-36.5
11	-52.5	-87.8	-110.7	-104.5	-27.2	-48.4
12	-61.9	-102.9	-114.0	-121.7	-32.2	-56.4
Yhteensä	-435.8	-680.5	-1465.9	-977.3	-216.1	-459.9
Lämmityksen aikainen	-387.2	-606.7	-758.6	-795.3	-195.7	-369.2
Jäähdytyksen aikainen	1.3	-8.9	-298.1	-32.5	1.3	-17.6
Muina aikoina	-49.9	-64.9	-409.2	-149.5	-21.7	-73.1

